



TUGAS AKHIR - MO141326

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH INTERAKSI
FLUIDA PADA DUA SILINDER DENGAN *HELICAL
RODS* BERGAP PADA POLA ALIRAN FLUIDA DAN
GAYA EKSITASI *VORTEX SHEDDING* UNTUK
KONFIGURASI *SIDE-BY-SIDE***

BAGAS PUMBARINO

NRP. 4312 100 077

Dosen Pembimbing :

Dr.Eng Rudi Walujo Prastianto, S.T.,M.T.

Murdjito, M.Sc.Eng.

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2017



TUGAS AKHIR - MO 141326

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH INTERAKSI FLUIDA
PADA DUA SILINDER DENGAN *HELICAL RODS*
BERGAP TERHADAP POLA ALIRAN FLUIDA DAN GAYA
EKSITASI *VORTEX SHEDDING* UNTUK KONFIGURASI
*SIDE-BY-SIDE***

BAGAS PUMBARINO

NRP. 4312 100 077

Dosen Pembimbing

Dr.Eng Rudi Walujo Prastianto, S.T.,M.T.

Murdjito, M.Sc.Eng.

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2017



UNDERGRADUATE THESIS - MO141326

**EXPERIMENTAL STUDY EFFECT OF FLUID
INTERACTION BETWEEN TWO CYLINDERS COVERED
BY HELICAL RODS WITH GAP TO FLUID FLOW
PATTERN AND VORTEX SHEDDING EXCITATION
FORCES IN SIDE-BY-SIDE ARRANGEMENT**

BAGAS PUMBARINO

REG. 4312 100 077

Supervisors :

Dr.Eng Rudi Walujo Prastianto, S.T.,M.T.

Murdjito, M.Sc.Eng.

OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT

**Faculty of Marine Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya**

2017

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH INTERAKSI FLUIDA PADA DUA
SILINDER DENGAN *HELICAL RODS* BERGAP TERHADAP POLA
ALIRAN FLUIDA DAN GAYA EKSITASI *VORTEX SHEDDING* UNTUK
KONFIGURASI *SIDE-BY-SIDE***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

BAGAS PUMBARINO

NRP. 4312100077

Disetujui oleh :

1. Dr.Eng Rudi Walujo Prastianto..... (Pembimbing 1)
2. Murdjito, M.Sc.Eng..... (Pembimbing 2)
3. Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D..... (Penguji 1)
4. Ir. Joswan Jusuf Soedjono, M.Sc..... (Penguji 2)
5. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D..... (Penguji 3)
6. Wimala lalitya Dhanistha, S.T., M.T..... (Penguji 4)

SURABAYA, JANUARI 2017

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH INTERAKSI FLUIDA PADA DUA
SILINDER DENGAN *HELICAL RODS* BERGAP TERHADAP POLA
ALIRAN FLUIDA DAN GAYA EKSITASI *VORTEX SHEDDING* UNTUK
KONFIGURASI *SIDE-BY-SIDE***

Nama Mahasiswa : Bagas Pumbarino
NRP : 4312100077
Departemen : Teknik Kelautan – FTK ITS
Dosen Pembimbing : Dr.Eng Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.
Murdjito, M.Sc.Eng

ABSTRAK

Salah satu penyebab kelelahan yang dialami struktur silindris, seperti *riser* dan *conductor* adalah kejadian *vortex induced vibration* (VIV). Salah satu upaya untuk mengurangi VIV adalah dengan menambahkan *suppression device* pada struktur seperti penambahan *helical rods* bergap yang mampu mereduksi VIV dan gaya *drag*. Namun, pada kenyataannya banyak struktur silinder yang terpasang dalam satu grup. Karakteristik dan pola aliran fluida pada silinder tunggal akan sangat berbeda dengan kasus silinder jamak. Studi ini menyajikan hasil eksperimen di terowongan angin mengenai pengaruh variasi jarak antar dua silinder *rigid* dengan *suppression device* berupa *triple helical rods* bergap terhadap gaya dan pola aliran fluida pada konfigurasi *side-by-side*. Pengujian dilakukan pada rentang $Re = 1,6 \times 10^4 \sim 6,6 \times 10^4$ dengan variasi jarak antar silinder (T) 1,75D, 2,00D, dan 2,50D dengan D adalah diameter silinder. Hasil pengujian menunjukkan bahwa masih terdapat pengaruh antar silinder pada setiap variasi jarak dan kecepatan aliran yang diujikan. Hal ini ditandai dengan peningkatan koefisien rata-rata *drag* ($\overline{C_D}$) dan koefisien rata-rata *lift* ($\overline{C_L}$) dibandingkan dengan kasus silinder *helical rods* bergap tunggal. Jarak 2,00D memberikan pengaruh terbesar pada gaya *drag*, tetapi memberikan pengaruh terkecil pada gaya *lift*. Adapun pengaruh osilasi *vortex shedding* tidak memberikan pengaruh signifikan pada perubahan nilai C_D dan C_L ditandai dengan tidak ada perbedaan antara koefisien drag dan lift rata-rata dan koefisien drag dan lift *root mean square* (C_{Drms} dan C_{Lrms}). Sedangkan pada visualisasi aliran, vortex terlihat terbentuk pada kedua sisi masing-masing silinder terjadi pada jarak 2,50D. Artinya pada jarak ini, *vortex* antar silinder tidak saling mengganggu satu sama lain.

Kata Kunci : *Helical rods* bergap, gaya fluida, *side-by-side*, interferensi, Pola Aliran

**EXPERIMENTAL STUDY EFFECT OF FLUID INTERACTION
BETWEEN TWO CYLIDERS COVERED BY HELICAL RODS WITH
GAP TO FLUID FLOW PATTERN AND VORTEX SHEDDING
EXCITATION FORCES IN SIDE-BY-SIDE ARRANGEMENT**

Name : Bagas Pumbarino
Reg. Number : 4312100077
Department : Ocean Engineering – FTK ITS
Supervisors : Dr.Eng Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T
Murdjito, M.Sc.Eng

ABSTRACT

One of causes fatigue on cylindrical structures, such as risers and conductor is vortex induced vibration (VIV). One of ways to reduce VIV is by adding suppression device on structure such as helical rods with gap that could reduce both VIV and drag forces. But, in field applications we usually find offshore cylindrical structures such as risers and conductors are installed in a group. Characteristic of fluids and flow patterns on single cylinder are completely different with multiple cases. This study present experiment result in wind tunnel about the effect of distance between two cylinders covered helical rods with gap to fluid forces and flow patterns in side-by-side arrangement. The tests were conducted at $Re = 1,6 \times 10^4 \sim 6,6 \times 10^4$ with three distances between cylinders (T) variation of 1,75D, 2,00D, and 2,50D, with D is diameter of cylinder. The results show that there are still strong interference between cylinders on tested Re and distance variations. It is showed by increment of mean drag coefficient ($\overline{C_D}$) and mean lift coefficient ($\overline{C_L}$), that compared to single case. Distance of 2,00D has highest interference on drag forces but weakest interference on lift forces. Otherwise, oscillation forces due to vortex shedding did not give any significant changes on C_D dan C_L . It is indicated by the same values between mean coefficient and root mean square coefficient. On the otherhand, the result of flow visualization on cylinders show that vortex on distance of 2,50D completely formed on both cylinders, upper and lower cylinder. It means on this range, flow behind cylinder do not interfere with each other.

Keywords : Helical rods with gap, fluid forces, side-by-side, interference, flow pattern

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Alhamdulillah, Penulis panjatkan puji syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan program Strata 1 (S1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).

Tugas Akhir dengan judul **“Studi Eksperimental Pengaruh Interaksi Dua Silinder dengan *Helical Rods* bergap Terhadap Gaya dan Pola Aliran Fluida untuk Konfigurasi *Side-by-side*”** ini membahas mengenai gaya fluida yaitu gaya drag dan gaya lift yang terjadi pada silinder yang tersusun secara jamak akibat interaksi antar silinder dan osilasi dari *vortex shedding*. Hasil yang tersaji di Tugas Akhir ini merupakan hasil pengujian eksperimen di laboratorium.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis terbuka dengan saran dan kritik sebagai bahan penyempurnaan untuk laporan selanjutnya. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat, baik bagi pembaca maupun penulis dan terlebih dapat memberikan kontribusi pada perkembangan teknologi di bidang kelautan.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Surabaya, Januari 2017

Bagas Pumbarino,

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya atas bimbingan dan bantuan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, baik secara langsung maupun tidak langsung, kepada:

1. Kedua orang tua penulis tercinta, Widiat dan Suhayanah Haryati. Terimakasih atas segala doa, kasih sayang dan pengorbanan kepada penulis.
2. Bapak Dr.Eng Rudi Walujo Prastianto sebagai Pembimbing I, yang selalu membantu dan memonitori untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Murdjito, M,Sc.Eng sebagai Pembimbing II, yang memberikan masukan-masukan berharga agar Tugas Akhir ini menjadi lebih baik.
4. Bapak Fariduzzaman selaku ketua BBTA3 - BPPT dan Bapak Wibi selaku kepala divisi R&D yang memberikan izin untuk menggunakan fasilitas laboratorium di BBTA3 – BPPT demi terlaksananya Tugas Akhir ini.
5. Bapak Yudiawan, Bapak Sulistyono, Bapak Muhidi, Bapak Karyawan, Bapak Angga, Bapak Basir dan seluruh staf BBTA3 – BPPT yang terlibat membantu secara teknis pelaksanaan eksperimen untuk Tugas Akhir ini.
6. Kresna Hadi Diwayana, teman satu perjuangan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Teman-teman satu angkatan “Varuna” L-30 P-52 , yang selalu memberi semangat dan dukungan dalam pengerjaan Tugas Akhir.
8. Teman – teman grup “Kontrakan Alliance”, Aditya, Alfino, Afif, Bagus, Budi, Kresna, yang selalu bersama saya selama kuliah di ITS ini.
9. Semua teman-teman yang penulis kenal, baik teman SMA atau teman kampus, kakak kelas atau adik kelas. Terimakasih telah menjadi bagian dari perjalanan hidup saya hingga saat ini.

Semoga seluruh bantuan yang telah diberikan kepada penulis mendapat balasan yang baik dari Allah SWT dan menjadi bekal di masa depan bagi penulis.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	v
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 LATAR BELAKANG MASALAH.....	1
1.2 RUMUSAN MASALAH	3
1.3 TUJUAN PENELITIAN	3
1.4 BATASAN MASALAH	4
1.5 SISTEMATIKA PENULISAN	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	
2.1 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.2 DASAR TEORI.....	8
2.2.1 Parameter Tak Berdimensi	8
2.2.2 Viskositas.....	9
2.2.3 Pola Aliran Fluida di Sekitar Silinder.....	10
2.2.4 <i>Vortex Shedding</i>	11
2.2.5 Mekanisme Terjadinya Pelepasan Vortex	12
2.2.6 Gaya Drag dan Gaya Lift.....	12
2.2.7 <i>Wind Tunnel</i>	14
2.2.8 Anemometer	14
2.2.9 <i>Smoke Generator</i>	15
2.2.10 <i>Load Cell</i>	15

2.2.11 <i>High Speed Camera</i>	17
---------------------------------------	----

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 SKETSA DIAGRAM ALIR	19
3.2 KAJIAN PUSTAKA	20
3.3 PENGUMPULAN DATA.....	20
3.4 PEMBUATAN MODEL EKSPERIMEN	21
3.5 DESAIN DAN PERSIAPAN EKSPERIMEN	22
3.5.1 Pembuatan Tumpuan	22
3.5.2 Instalasi pada <i>Wind Tunnel</i>	22
3.6 KALIBRASI ALAT UKUR.....	23
3.6.1 Kalibrasi <i>Fan Driver Wind Tunnel</i>	23
3.6.2 Kalibrasi Sensor <i>Load Cell</i>	24
3.7 RUNNING PENGUJIAN.....	26
3.7.1 Pengujian Silinder Tunggal Sebagai Validasi	26
3.7.2 Pengujian Silinder Konfigurasi <i>Side-by-side</i>	26
3.8 PENGUJIAN GAYA DRAG DAN LIFT	28
3.9 PENGUJIAN VISUALISASI ALIRAN	29
3.10 HASIL DAN ANALISIS	30
3.11 KESIMPULAN DAN PENYUSUNAN LAPORAN.....	30

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 VALIDASI MODEL	31
4.2 GAYA DRAG PADA SILINDER JAMAK <i>SIDE-BY-SIDE</i>	36
4.2.1 Gaya Drag Rata-rata	36
4.2.2 Gaya Drag <i>Root Mean Square</i>	39
4.2.3 Tren C_D rata-rata pada Setiap Variasi Jarak	41
4.2.4 Tren C_D rms pada Setiap Variasi Jarak.....	43
4.3 GAYA LIFT PADA SILINDER TUNGGAL.....	44
4.3.1 Gaya Lift Rata-rata Silinder Tunggal	44
4.3.2. Gaya Lift <i>Root Mean Square</i> Silinder Tunggal	45
4.4 GAYA LIFT PADA SILINDE JAMAK <i>SIDE-BY-SIDE</i>	46
4.4.1 Gaya Lift Rata-rata	46

4.4.2 Gaya Lift <i>Root Mean Square</i>	48
4.4.3 Tren C_L rata-rata pada Setiap Variasi Jarak.....	51
4.4.4 Tren C_L rms pada Setiap Variasi Jarak	52
4.5 PERBANDINGAN HASIL DENGAN PENELITIAN	
SEBELUMNYA.....	53
4.5.1 Perbandingan Hasil Koefisien Drag (C_D)	54
4.5.2 Perbandingan Hasil Koefisien Lift (C_L)	55
4.6 VISUALISASI ALIRAN DI BELAKANG SILINDER.....	55
4.6.1 Visualisasi Aliran di Belakang Silinder Tunggal	56
4.6.2 Visualisasi Aliran di Belakang Silinder Jamak <i>Side-by-side</i>	57
BAB V PENUTUP	
5.1 KESIMPULAN	61
5.2 SARAN	62
DAFTAR PUSTAKA	65
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Klasifikasi pola aliran vortex pada dua silinder dengan konfigurasi <i>side-by-side</i> dan tandem	2
Gambar 2.1	Diagram perilaku fluida pada dua plat paralel.....	9
Gambar 2.2	Pola aliran fluida di sekitar silinder pada aliran <i>steady</i> (Sumner dan Froedson, 2010).....	11
Gambar 2.3	Mekanisme terjadinya <i>vortex shedding</i> (Sumner dan Froedson, 2010).....	12
Gambar 2.4	Osilasi gaya drag dan gaya lift (Sumner dan Froedson, 2010).....	13
Gambar 2.5	(a) Skema wind tunnel terbuka ; (b) skema <i>wind tunnel</i> Sirkuit tertutup (Singh dkk, 2013)	14
Gambar 2.6	Perangkat Anemometer yang digunakan dalam pengujian.....	15
Gambar 2.7	<i>Smoke generator</i> yang digunakan dalam pengujian	15
Gambar 2.8	<i>Load cell</i> (a) <i>S-Beam</i> dan (b) <i>Beam</i> yang digunakan dalam Pengujian	16
Gambar 2.9	Skema pembacaan gaya pada <i>load cell single axis</i> untuk tipe <i>beam</i> dan <i>s-beam</i>	16
Gambar 2.10	<i>High speed camera</i> yang digunakan dalam pengujian.....	17
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian Tugas Akhir	19
Gambar 3.2	Diagram alir penelitian Tugas Akhir (Lanjutan)	20
Gambar 3.3	Laboratorium LSWT BBTA3 BPPT	21
Gambar 3.4	Model uji silinder polos	22
Gambar 3.5	Model uji silinder dengan helical rods bergap.....	22
Gambar 3.6	Pemasangan alat ukur, pelat tumpuan, dan model.....	23
Gambar 3.7	Hasil kalibrasi load cell S-beam (LC1).....	25
Gambar 3.8	Hasil kalibrasi load cell S-beam (LC2).....	25
Gambar 3.9	Hasil kalibrasi load cell S-beam (LC3).....	25
Gambar 3.10	Hasil kalibrasi load cell Beam (LC4)	26
Gambar 3.11	Ilustrasi pengujian variasi jarak pada konfigurasi <i>side-by-side</i>	27
Gambar 3.12	Ilustrasi instalasi load cell untuk pengujian gaya drag	

di <i>wind tunnel</i>	27
Gambar 3.13 Ilustrasi instalasi load cell untuk pengujian gaya lift di <i>wind tunnel</i>	28
Gambar 3.14 Contoh pemasangan silinder konfigurasi <i>side-by-side</i> pada <i>wind tunnel</i>	28
Gambar 3.15 Pemasangan <i>load cell</i> untuk pengujian (a) gaya drag ; (b) gaya lift.....	29
Gambar 3.16 Kondisi pengambilan <i>flow visualization</i> menggunakan <i>high speed camera</i>	29
Gambar 4.1 Grafik koefisien drag (C_D) pada silinder polos tunggal oleh Weiselberger sebagai perbandingan referensi	31
Gambar 4.2 Perbandingan $\overline{C_D}$ silinder polos dengan $\overline{C_D}$ referensi sebagai validasi eksperimen.....	32
Gambar 4.3 Perbandingan $\overline{C_D}$ Silinder polos vs Silinder dengan <i>helical rods</i> ber-gap tunggal	34
Gambar 4.4 Perbandingan C_{Drms} Silinder polos vs Silinder dengan <i>helical rods</i> ber-gap tunggal	35
Gambar 4.5 Perbandingan hasil $\overline{C_D}$ pada masing-masing silinder pada konfigurasi <i>side-by-side</i> T/D = 1.75	36
Gambar 4.6 Perbandingan hasil $\overline{C_D}$ pada masing-masing silinder pada konfigurasi <i>side-by-side</i> T/D = 2.00.....	37
Gambar 4.7 Perbandingan hasil $\overline{C_D}$ pada masing-masing silinder pada konfigurasi <i>side-by-side</i> T/D = 2,50.....	38
Gambar 4.8 Perbandingan hasil C_{Drms} pada masing-masing silinder pada konfigurasi <i>side-by-side</i> T/D = 1,75.....	39
Gambar 4.9 Perbandingan hasil C_{Drms} pada masing-masing silinder pada konfigurasi <i>side-by-side</i> T/D = 2,00.....	40
Gambar 4.10 Perbandingan hasil C_{Drms} pada masing-masing silinder pada konfigurasi <i>side-by-side</i> T/D = 2,50.....	41
Gambar 4.11 Perbandingan $\overline{C_D}$ silinder atas konfigurasi <i>side-by-side</i> pada masing-masing variasi jarak	41

Gambar 4.12 Perbandingan $\overline{C_D}$ silinder bawah konfigurasi <i>side-by-side</i> pada masing-masing variasi jarak	42
Gambar 4.13 Perbandingan C_{Drms} silinder atas konfigurasi <i>side-by-side</i> pada masing-masing variasi jarak	43
Gambar 4.14 Perbandingan C_{Drms} silinder bawah konfigurasi <i>side-by-side</i> pada masing-masing variasi jarak	43
Gambar 4.15 Perbandingan C_L pada silinder polos tunggal dan silinder <i>helical rods</i> bergap	44
Gambar 4.16 Perbandingan C_{Lrms} pada silinder polos tunggal dan silinder <i>helical rods</i> bergap tunggal	45
Gambar 4.17 Perbandingan $\overline{C_L}$ pada masing-masing silinder pada konfigurasi <i>side-by-side</i> $T/D=1,75$	46
Gambar 4.18 Perbandingan $\overline{C_L}$ pada masing-masing silinder pada konfigurasi <i>side-by-side</i> $T/D=2,00$	47
Gambar 4.19 Perbandingan $\overline{C_L}$ pada masing-masing silinder pada konfigurasi <i>side-by-side</i> $T/D=2,50$	48
Gambar 4.20 Perbandingan C_{Lrms} pada masing-masing silinder pada konfigurasi <i>side-by-side</i> $T/D=1,75D$	49
Gambar 4.21 Perbandingan C_{Lrms} pada masing-masing silinder pada konfigurasi <i>side-by-side</i> $T/D=2,00D$	49
Gambar 4.22 Perbandingan C_{Lrms} pada masing-masing silinder pada konfigurasi <i>side-by-side</i> $T/D=2,50D$	50
Gambar 4.23 Perbandingan $\overline{C_L}$ silinder atas konfigurasi <i>side-by-side</i> pada masing-masing variasi jarak	51
Gambar 4.24 Perbandingan $\overline{C_L}$ silinder bawah konfigurasi <i>side-by-side</i> pada masing-masing variasi jarak	52
Gambar 4.25 Perbandingan C_{Lrms} silinder atas konfigurasi <i>side-by-side</i> pada masing-masing variasi jarak	52
Gambar 4.26 Perbandingan C_{Lrms} silinder bawah konfigurasi <i>side-by-side</i> pada masing-masing variasi jarak	53
Gambar 4.27 Perbandingan Hasil C_D silinder <i>helical rods</i> bergap	

penelitian sekarang dengan C_D silinder polos penelitian yang sudah ada pada setiap variasi jarak di konfigurasi <i>side-by-side</i>	54
Gambar 4.28 Perbandingan Hasil C_L silinder <i>helical rods</i> bergap penelitian sekarang dengan C_L silinder polos penelitian yang sudah ada pada setiap variasi jarak di konfigurasi <i>side-by-side</i>	55
Gambar 4.29 (a) dan (b). <i>Vortex shedding</i> dibelakang silinder polos tunggal pada $V = 5 \text{ m/s}$ ($Re = 1,6 \times 10^4$)	56
Gambar 4.30 (a) dan (b) <i>Vortex Shedding</i> dibelakang silinder <i>helical rods</i> bergap tunggal pada $V = 5 \text{ m/s}$ ($Re = 1,6 \times 10^4$)	56
Gambar 4.31 Visualisasi <i>vortex shedding</i> dibelakang silinder konfigurasi <i>side-by-side</i> untuk jarak $1,75D$	57
Gambar 4.32 Visualisasi <i>vortex shedding</i> dibelakang silinder konfigurasi <i>side-by-side</i> untuk jarak $2,00D$	57
Gambar 4.33 Visualisasi <i>vortex shedding</i> dibelakang silinder konfigurasi <i>side-by-side</i> untuk jarak $2,50D$	57

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Dimensi model uji.....	21
Tabel 3.2	Hubungan frekuensi putaran fan dengan kecepatan angin untuk pengujian pada setiap model dan konfigurasi.....	24
Tabel 4.1	Perbandingan $\overline{C_D}$ pada silinder polos pengujian vs silinder polos referensi	32
Tabel 4.2	Perbandingan hasil $\overline{C_D}$ pada silinder polos vs silinder dengan <i>helical rods</i> bergap pada Re yang tervalidasi dengan baik.....	33
Tabel 4.3	Perbandingan hasil C_{Drms} pada silinder polos vs silinder dengan <i>helical rods</i> bergap pada Re yang tervalidasi dengan baik.....	35

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A-1	Pembuatan Model
LAMPIRAN A-2	Proses dan Hasil Kalibrasi Alat Ukur
LAMPIRAN B-1	Hasil Rekaman Pengujian
LAMPIRAN B-2	Detail Perhitungan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG MASALAH

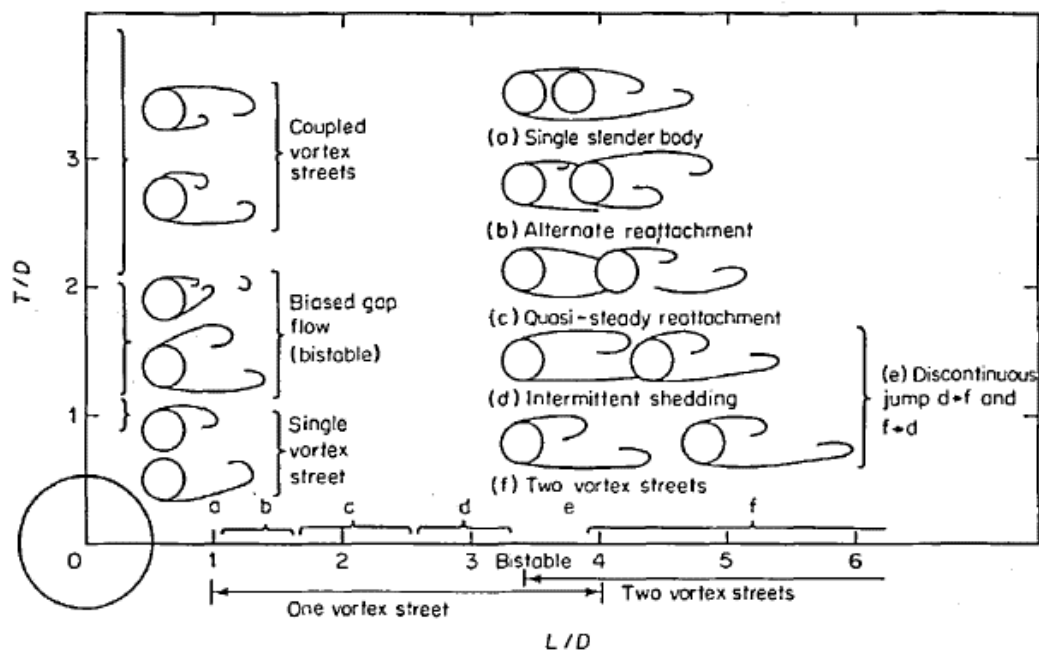
Fenomena *vortex shedding* (pelepasan vorteks) pada silinder merupakan salah satu faktor yang perlu diperhatikan dalam sebuah desain struktur lepas pantai, terutama *deepwater structure* seperti *riser*, *pipeline*, *conductor*, SPAR dan lain-lain. pelepasan vortex tersebut menimbulkan gaya eksitasi yang menyebabkan struktur tersebut menjadi bergetar, atau biasa disebut *Vortex-Induced Vibration* (VIV). Getaran ini apabila terjadi terus menerus dalam jangka waktu yang lama akan menyebabkan kelelahan (*fatigue damage*) pada struktur tersebut.

Oleh karena itu, banyak studi yang dilakukan agar resiko yang terjadi pada interaksi fluida terhadap struktur dapat diminimalisir. Pada studi yang dilakukan Blevins (1990) Ada empat cara untuk mereduksi *Vortex-Induced Vibration*, yaitu meningkatkan *reduced damping*, menghindari resonansi, desain penampang yang *streamline*, menambahkan alat peredam vortex (*vortex suppression*). Zdravkovich (1981) membagi *suppression device* menjadi tiga kategori yakni *topographic device*, *shrouds*, dan *wake stabilizers*. Menurutnya, *helical strakes* merupakan salah satu *topographic device* yang paling sukses karena mampu meredam terjadinya getaran akibat vortex hingga 80 %.

Seiring dengan perkembangan penelitian, ternyata penambahan *helical strakes* memberikan penambahan gaya drag pada struktur silinder (Yufian, 2009). Kemudian Sugiwanto (2011) dan Al Musthofa (2014) masing-masing melakukan studi numerik dan eksperimen mengenai *helical strakes* dengan gap tertentu pada silinder. Hasil penelitian mereka menunjukkan terjadinya penurunan pada gaya drag, gaya lift, dan mampu meredam VIV.

Meski demikian, pada kenyataannya banyak struktur silinder yang tidak terpasang secara terpisah, tetapi dalam satu grup, contohnya *riser* dan *conductor*. Karakteristik fluida yang terjadi pada satu grup riser terjadi tentu lebih kompleks dibandingkan dengan satu riser saja. Karakteristik fluida tersebut bergantung jarak

antar silinder dan posisi relatifnya. Jika jarak kedua silinder sangat dekat, maka karakteristik aliran fluida seperti melewati satu silinder, tetapi apabila jarak kedua silinder tersebut terlalu jauh, maka karakteristik aliran menjadi independen pada masing-masing silinder dan tidak saling mempengaruhi (Zdravkovich, 1985). Zdravkovich membagi pola aliran vortex pada 2 silinder konfigurasi *side-by-side* menjadi 3 yaitu *single vortex street*, *biased gapflow* dan *coupled vortex street*. Pada *single vortex street*, aliran vortex yang melewati kedua silinder tersebut memiliki pola yang sama dengan vortex pada silinder tunggal. Pola aliran ini terjadi pada $1.2 < T/D$. Sedangkan pada $1.2 < T/D < 2$ pola *biased gapflow* terjadi, yaitu pola aliran vortex silinder mengganggu pola aliran vortex silinder lainnya sehingga pola aliran vortex menjadi tidak stabil. Dan pada pola *coupled vortex street*, pola aliran vortex yang terjadi tidak saling mempengaruhi satu sama lain, pola aliran ini terjadi pada jarak antar per diameter silinder lebih dari sama dengan 2 ($T/D > 2$).



Gambar 1.1 Klasifikasi pola aliran vortex pada 2 silinder dengan konfigurasi *side-by-side* dan tandem (Zdravkovich, 1985)

Pada penelitian tugas akhir ini, akan dilakukan studi eksperimen mengenai karakteristik fluida yang dihasilkan 2 silinder dengan penambahan alat peredam

vorteks yang tersusun secara *side-by-side* terhadap gaya yang bekerja pada silinder dan pola aliran fluida. Silinder tersebut dimodifikasi dengan *helical rod* bergap yang telah diteliti oleh Sugiwanto (2011) dan Al mustofa (2014) masing-masing melalui studi numeris dan eksperimennya.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah

1. Bagaimana pengaruh variasi jarak pada dua silinder dengan *helical rods* bergap untuk konfigurasi *side-by-side* terhadap gaya drag yang terjadi ?
2. Bagaimana pengaruh variasi jarak pada dua silinder dengan *helical rods* bergap untuk konfigurasi *side-by-side* terhadap gaya lift yang terjadi ?
3. Bagaimana pengaruh osilasi *vortex shedding* akibat interaksi dua silinder dengan *helical rods* bergap untuk konfigurasi *side-by-side* terhadap perubahan gaya drag dan gaya lift ?
4. Bagaimana pengaruh variasi jarak pada dua silinder dengan *helical rods* bergap untuk konfigurasi *side-by-side* terhadap pola aliran fluida yang terjadi di sekitar silinder ?

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi jarak pada dua silinder dengan *helical rods* bergap untuk konfigurasi *side-by-side* terhadap gaya drag yang terjadi.
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi jarak pada dua silinder dengan *helical rods* bergap untuk konfigurasi *side-by-side* terhadap gaya lift yang terjadi.
3. Untuk mengetahui pengaruh osilasi *vortex shedding* akibat interaksi dua silinder dengan *helical rods* bergap untuk konfigurasi *side-by-side* terhadap perubahan gaya drag dan gaya lift.
4. Untuk mengetahui pengaruh variasi jarak pada dua silinder dengan *helical rod* bergap untuk konfigurasi *side-by-side* terhadap pola aliran fluida yang terjadi di sekitar silinder.

1.4 BATASAN MASALAH

Adapun batasan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Model silinder berbahan alumunium dengan panjang (L) 48 cm, diameter silinder (D) 5,08 cm, diameter rods (d) 0,3 cm (0,06D) dengan gap (g) 0,3 cm (0,06D);
2. Arus dibangkitkan menggunakan *open wind tunnel*;
3. Ukuran seksi uji pada *wind tunnel* adalah 0.72 m x 0.5 m x 0.5 m;
4. Variasi Re dilakukan dengan melakukan variasi kecepatan alir fluida yang berkisar antara 5 – 20 m/s atau disekitar $Re = 1,6 \times 10^4 \sim 6,6 \times 10^4$;
5. Variasi jarak yang digunakan 1,75D, 2D dan 2,5D;
6. Fluida yang mengenai bahan uji adalah udara;
7. Fluida yang mengalir dianggap seragam (*uniform*) dan *steady* sepanjang silinder;
8. Silinder dianggap *rigid*, dan terpasang pada tumpuan *roll* pada kedua ujungnya.
9. Penelitian ini bersifat general dan belum dapat diaplikasikan langsung untuk riser kondisi sebenarnya;

1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

BAB I, PENDAHULUAN, menjelaskan tentang latar belakang penulisan, permasalahan yang dibahas dalam penulisan, apa yang akan dilakukan, batasan masalah, tujuan dan manfaat penulisan tugas akhir.

BAB II, TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI, menjelaskan sumber referensi yang digunakan sebagai acuan penelitian. Pada subbab tinjauan pustaka menjelaskan penelitian-penelitian terdahulu yang terkait dengan penelitian tugas akhir ini. Sedangkan subbab dasar teori menjelaskan teori-teori yang terkait dengan penelitian.

BAB III, METODE PENELITIAN, menjelaskan metodologi penelitian yang akan digunakan untuk mengerjakan tugas akhir. Pada bab ini menjelaskan langkah-langkah dan metode dalam pengerjaan penelitian.

BAB IV, ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN , membahas hasil dari analisis yang telah dilakukan pada penelitian, meliputi analisis hasil, dan pembahasan hasil analisis.

BAB V, PENUTUP, berisi tentang kesimpulan setelah dilakukan analisis dan saran serta rekomendasi dari hasil pengerjaan tugas akhir.

DAFTAR PUSTAKA menampilkan seluruh informasi dan dokumen tertulis yang dijadikan landasan dan pengembangan penelitian.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 TINJAUAN PUSTAKA

Telah banyak penelitian sebelumnya yang membahas mengenai karakteristik aliran fluida melewati dua silinder. Diantaranya oleh Zdravkovic (1985) yang melakukan penelitian mengenai aliran yang melewati 2 silinder parallel dengan berbagai konfigurasi : *side-by-side*, tandem dan *staggered*. penelitian tersebut dilakukan untuk mengetahui getaran atau osilasi yang terjadi pada kedua silinder tersebut akibat vortex, *vortex induced vibration*, dan akibat *fluid-elastic*, *Fluid elastic induced vibration*. adapun jarak yang digunakan masing-masing konfigurasi tersebut disesuaikan dengan penelitian yang telah ia lakukan sebelumnya (1977). Hasil eksperimen tersebut menunjukkan bahwa, VIV yang terjadi pada silinder sangat bergantung pada konfigurasi. Osilasi pada daerah *proximity interference* jauh lebih besar dibandingkan pada daerah *no-interference*. Sedangkan osilasi pada *fluid-elastic*, dikarakteristikan oleh amplitudo yang sangat besar pada nilai *reduced velocity* yang tinggi.

Verma dan Govardhan (2011), melakukan studi numerik pada dua silinder polos dengan konfigurasi *side-by-side* untuk mengetahui gaya fluida dengan variasi L/D 1,5; 2,0; 3,0 dan 4,0 pada $Re = 200$. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa gaya fluida semakin tereduksi apabila rasio L/D semakin besar. Namun pada rasio L/D 2,00 terjadi fenomena *flopping* dimana nilai C_D dan C_L mengalami peningkatan.

Alam dkk (2003) melakukan studi eksperimen pada dua silinder polos dengan konfigurasi *side-by-side*. Variasi rasio jarak yang diujikan adalah $T/D = 1,1 - 7$ pada $Re = 5,5 \times 10^4$. Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa pada rasio jarak $1,1 \leq T/D \leq 1,2$ aliran fluida pada kedua silinder berperilaku seperti pada aliran silinder tunggal. kemudian pada rasio $1,2 \leq T/D \leq 2,6$, aliran fluida antar silinder saling mengalahkan satu sama lain (*biased flow*) dan pada rasio $2,6 \leq T/D \leq 7$, aliran fluida antar silinder tidak saling mengganggu dan berperilaku secara independen. Hasil ini juga sama dengan yang telah diungkapkan oleh Zdravkovich dan Pridden (1977). Kemudian Pang dkk (2016) melakukan

penelitian serupa dengan variasi jarak yang sama namun Re yang berbeda ($Re = 6 \times 10^4$) dengan simulasi metode IVCBC. Hasil yang didapatkan tidak jauh berbeda dengan yang telah dilakukan oleh Alam dkk (2003).

Sugiwanto (2011) melakukan penelitian menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dan beberapa variasi terhadap diameter *strakes* dan ukuran *pitch*. Pemodelan yang dilakukan adalah penambahan helical rod pada silinder rigid dengan gap tertentu. Hasil yang diperoleh terjadi penurunan gaya drag dan peredaman VIV secara berurutan sebesar 45 % dan 35 % dengan konfigurasi yang paling optimum adalah diameter rods 0.0625D dan gap 0.0625D. Kemudian, Almustofa (2014) melakukan penelitian Tugas Akhir dengan melakukan eksperimen interaksi fluida pada silinder dengan penambahan *helical rod* bergap dengan konfigurasi yang paling optimum. Eksperimen tersebut menghasilkan reduksi gaya drag dan amplitudo respon sebesar 50 % dan 49 %.

Dari kedua penelitian terakhir tersebut, peneliti terdorong untuk melakukan eksperimen interaksi fluida pada dua silinder dengan penambahan helical rod bergap dengan konfigurasi *side-by-side*. Untuk memperkuat hasil penelitian yang telah dilakukan, hasil yang diteliti sekarang akan dianalisis dan dibandingkan dengan hasil penelitian Alam dkk (2003) dan Pang dkk (2016).

2.2 DASAR TEORI

2. 2. 1. Parameter Tak Berdimensi

a. Geometri

Geometri adalah salah satu parameter yang paling penting dalam menganalisis interaksi fluida pada struktur. Geometri model struktur didefinisikan dalam *fineness ratio* :

$$fineness\ ratio = \frac{length}{depth} = \frac{l}{d} \quad (\text{Persamaan 2.1})$$

b. Reynolds Number

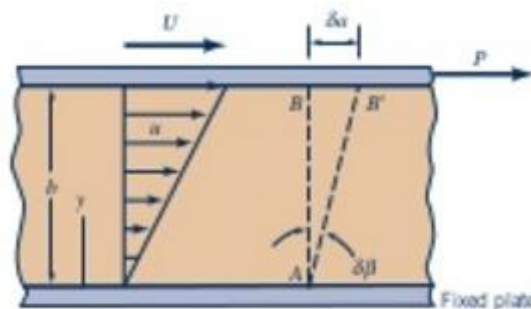
Reynolds number atau angka *Reynolds* (Re) merupakan parameter tak berdimensi yang menyatakan hubungan gaya inersia fluida dengan viskositas

kinematis fluida. Angka Re ini juga menyatakan level turbulensi pada sebuah aliran.

$$Re = \frac{UD}{\nu} \quad (\text{Persamaan 2.2})$$

2. 2. 2. Viskositas

Viskositas merupakan tingkat ketahanan suatu fluida terhadap deformasi akibat tekanan atau tegangan. fluida yang memiliki nilai viskositas yang lebih tinggi akan lebih lambat terdeformasi dibandingkan dengan fluida dengan nilai viskositas yang lebih rendah.



Gambar 2.1 Diagram perilaku fluida pada dua plat parallel (Munson dkk, 2003)

Pada gambar 2.1 merupakan diagram deformasi aliran fluida yang menjelaskan viskositas fluida. Fluida berada diantara kedua plat sejajar yang sangat lebar. Plat bawah dipasang tetap, dan pelat atas dapat bergerak bebas. Pelat atas dibebani gaya, P, sehingga pelat atas dapat bergerak dengan kecepatan U. hal tersebut menimbulkan gaya geser pada fluida sehingga fluida juga bergerak. Fluida yang bersentuhan langsung dengan pelat bergerak dengan kecepatan U, sedangkan fluida yang berada diantara kedua plat bergerak dengan $u=u(y)$. jadi gradien kecepatan terbentuk dalam fluida tersebut. hubungan antara fluida-fluida biasa, tegangan, dan laju regangan (gradient kecepatan) ditulis dalam bentuk

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (\text{Persamaan 2.3})$$

Dimana, μ disebut sebagai viskositas dinamis.

Nilai viskositas sebenarnya tergantung dari fluida tertentu, dan untuk setiap fluida tertentu pula viskositasnya sangat bergantung pada temperature. Pengaruh temperatur terhadap viskositas dapat diperkirakan dengan baik dengan menggunakan 2 persamaan empiris. Untuk gas, digunakan *persamaan Sutherland* dengan

$$\mu = \frac{bT^{1/2}}{1+S/T} \quad (\text{Persamaan 2.4})$$

Dimana, b dan S adalah konstanta empiris dengan nilai, $b = 1.458 \times 10^{-6} \text{ kg/msK}^{0.5}$ dan $S = 110,4 \text{ K}$. sedangkan T adalah temperatur.

Seringkali dalam persoalan aliran fluida, viskositas muncul dalam bentuk yang dikombinasikan dengan kerapatan sebagai

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{Persamaan 2.5})$$

Perbandingan ini disebut viskositas kinematis dan dilambangkan ν .





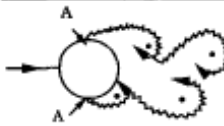

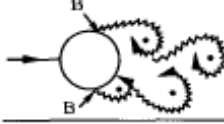


2. 2. 3. Pola Aliran Fluida di Sekitar Silinder

Suatu medan aliran fluida apabila terhalang oleh sebuah benda, maka aliran tersebut akan terganggu dan mencari kesetimbangan baru. Salah satu parameter yang menggambarkan pola aliran tersebut adalah angka *Reynolds* (Re). Angka Re memiliki pola aliran yang berbeda-beda. Pola aliran fluida tersebut diklasifikasikan pada gambar 2.2 a-I (Sumner dan Fredsoe, 2006).

Pada gambar 2.2 pada nilai Re, $Re < 5$ yang sangat kecil tidak terjadi pemisahan. Artinya pada nilai Re tersebut, vortex belum terbentuk. Kemudian semakin besar Re, pada rentang $5 < Re < 40$, pada aliran mulai terjadi pembentukan sepasang *floppl vortices* dibelakang silinder. Ketika nilai Re pada rentang $40 < Re < 200$, terbentuk aliran vortex pada kedua sisi silinder. Sifat dari vortex yang terbentuk adalah laminar.

Semakin bertambahnya nilai Re, pola aliran menjadi tidak stabil. Hal inilah yang menyebabkan terjadinya fenomena yang disebut sebagai *vortex shedding*, dimana *vortices* pada kedua sisi silinder terlepas pada frekuensi tertentu (lihat gambar 2.1d-f). pada saat nilai Re pada kisaran $200 < Re < 300$, aliran yang terjadi dalam kondisi transisi ke aliran turbulen. Kemudian nilai $300 < Re < 3 \times 10^5$ aliran yang melewati silinder menjadi sepenuhnya turbulen, namun lapisan batas dan *separation* masih laminar. Kondisi ini disebut kondisi subkritis. Selanjutnya pada nilai $3 \times 10^5 < Re < 3.5 \times 10^5$, kondisi aliran menjadi *critical*, dimana aliran dan lapisan batas turbulen, namun *separation* pada lapisan batas laminar.

Pada saat nilai Re bertambah, pada $3.5 \times 10^5 < Re < 1.0 \times 10^6$ terjadi transisi pada lapisan batas sehingga sebagian lapisan batas antara laminar dan turbulen. Pada kondisi ini akan terbentuk *bubble*. Kemudian pada nilai $1.5 \times 10^6 < Re < 4 \times 10^6$ dan $4 \times 10^6 < Re$, secara berurutan aliran sepenuhnya turbulen pada satu sisi, kemudian terjadi pada kedua sisi.

a)		No separation. Creeping flow	$Re < 5$
b)		A fixed pair of symmetric vortices	$5 < Re < 40$
c)		Laminar vortex street	$40 < Re < 200$
d)		Transition to turbulence in the wake	$200 < Re < 300$
e)		Wake completely turbulent. A: Laminar boundary layer separation	$300 < Re < 3 \times 10^5$ Subcritical
f)		A: Laminar boundary layer separation B: Turbulent boundary layer separation; but boundary layer laminar	$3 \times 10^5 < Re < 3.5 \times 10^5$ Critical (Lower transition)
g)		B: Turbulent boundary layer separation; the boundary layer partly laminar partly turbulent	$3.5 \times 10^5 < Re < 1.5 \times 10^6$ Supercritical
h)		C: Boundary layer com- pletely turbulent at one side	$1.5 \times 10^6 < Re < 4 \times 10^6$ Upper transition
i)		C: Boundary layer comple- tely turbulent at two sides	$4 \times 10^6 < Re$ Transcritical

Gambar 2.2 Pola aliran fluida di sekitar silinder pada aliran steady
(Sumer dan Fredsoe, 2010)

2. 2. 4. Vortex shedding

Vortex shedding adalah peristiwa terjadinya pelepasan vortex akibat adanya pemisahan aliran pada pola aliran yang tidak stabil. Seperti yang telah disebutkan

pada subbab sebelumnya, *vortex shedding* terjadi dimulai pada $Re > 40$. Pelepasan vortex ini memberikan tekanan lokal pada silinder sehingga menyebabkan silinder tersebut bergetar atau berosilasi.

2. 2. 5. Mekanisme Terjadinya Pelepasan Vortex

Pelepasan vortex terjadi karena adanya 2 titik yang tidak stabil pada $Re > 40$. Akibatnya, pasangan *vortices* yang terbentuk menjadi tidak stabil yang menyebabkan salah satu dari vortex tumbuh lebih besar dari yang lain. *vortices* dalam vortex A berputar searah jarum jam, sedangkan *vortices* dalam vortex B berputar berlawanan dengan arah jarum jam. Vortex A yang lebih besar menjadi semakin besar karena menarik vortex B yang lebih kecil. Kemudian vortex B akan memotong aliran *vorticity* yang mensuplai vortex A, akibatnya Vortex A terlepas dan menjadi vortex bebas.



Gambar 2.3 Mekanisme Terjadinya *Vortex Shedding* (Sumer dan Froedson, 2010)

Setelah vortex A terlepas, terbentuk vortex baru yang menggantikan vortex A, yaitu vortex C. pada kondisi ini, vortex B menjadi lebih besar dibanding vortex C. selanjutnya aliran *vorticity* vortex B dipotong vortex C, dan vortex menjadi vortex bebas. Proses ini terjadi secara terus – menerus pada kedua sisi silinder.

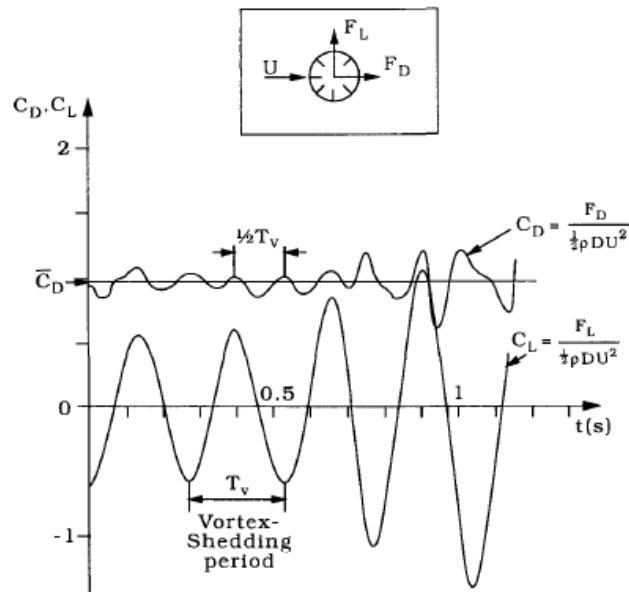
2. 2. 6. Gaya Drag dan Gaya Lift

Akibat perubahan periodik pada saat pelepasan vortex (*vortex shedding*), distribusi tekanan pada silinder akibat aliran fluida juga berubah secara periodik. Perilaku ini membangkitkan variasi komponen gaya pada silinder. Gaya yang bekerja pada silinder dibagi 2 berdasarkan arah datangnya aliran, *cross flow* dan *in-line direction*. Gaya yang bekerja secara tegak lurus, disebut gaya lift (F_L) sedangkan gaya yang bekerja pada arah sejajar (*in-line*) disebut gaya drag (F_D).

Pola aliran yang berubah akibat *vortex shedding* akan menyebabkan perubahan besarnya tekanan dan gaya yang bekerja pada silinder secara periodik. Pada gambar 2.4 yang merupakan hasil penelitian dari Drescher (1956) dalam

Sumer (2010) menunjukkan osilasi gaya drag dan gaya lift akibat terjadinya *vortex shedding*. Ketika *vortex shedding* terjadi, gaya drag berosilasi pada suatu nilai rata-rata tertentu. Hal ini terjadi karena adanya penambahan gaya akibat tekanan dan friksi yang bekerja pada silinder yang disebut *mean drag*. Maka gaya drag yang terjadi karena penjumlahan gaya akibat osilasi *vortex shedding* dan *mean drag*. Sedangkan pada gaya lift, ketika *vortex shedding* terjadi gaya lift berfluktuasi di sekitar nol. Meski demikian, terdapat komponen *non-zero mean* yang terjadi pada gaya lift yang menunjukkan besar gaya lift yang terjadi. Dalam statistika, magnitudo osilasi dikarakteristikan dengan nilai *root mean square (rms)*.

Masih menurut Drescher dalam Sumer (2006), gaya lift berfluktuasi di sekitar frekuensi *vortex shedding*, sedangkan frekuensi gaya drag adalah dua kali lipat frekuensi *vortex shedding*.



Gambar 2.4 Osilasi gaya drag dan gaya lift (Sumer dan Fredsoe, 2010)

Menurut Asyikin (2012) persamaan gaya drag dan gaya lift dapat ditulis sebagai berikut

$$F_L = \dot{F}_L \sin(\omega_s t + \phi_s) \quad (\text{Persamaan 2.6})$$

$$F_D = \overline{F_D} + \dot{F}_D \sin(2\omega_s t + \phi_s) \quad (\text{Persamaan 2.7})$$

Dimana \dot{F}_L dan \dot{F}_D adalah berturut adalah amplitude osilasi gaya lift dan gaya drag. $\overline{F_D}$ adalah *mean drag*. frekuensi *vortex shedding* ditunjukkan ω_s dengan ϕ_s adalah sudut fase antara osilasi gaya dengan *vortex shedding*.

Nilai C_D dan C_L adalah parameter tak berdimensi untuk gaya drag dan gaya lift, yang ditulis sebagai berikut

$$\dot{C}_L = \frac{\dot{F}_L}{1/2 \rho L D U^2} \quad (\text{Persamaan 2.8})$$

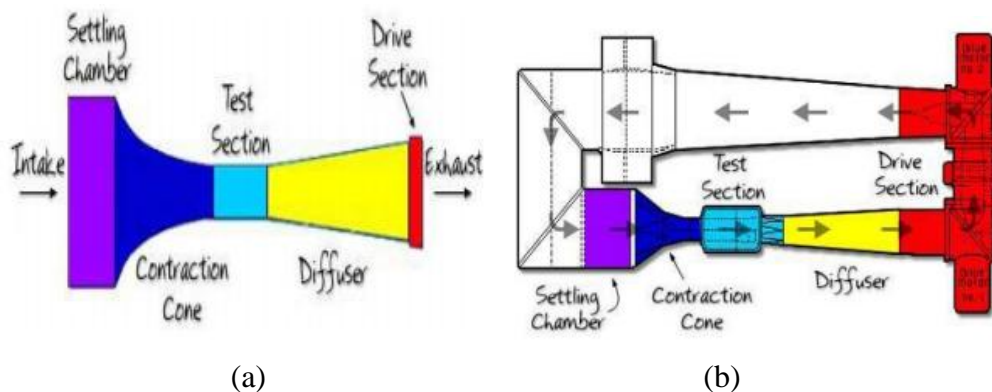
$$\dot{C}_D = \frac{\dot{F}_D}{1/2 \rho L D U^2} \quad (\text{Persamaan 2.9})$$

$$\overline{C_D} = \frac{\overline{F_D}}{1/2 \rho L D U^2} \quad (\text{Persamaan 2.10})$$

Dimana ρ adalah massa jenis fluida, L,D masing-masing adalah panjang dan diameter silinder dan U adalah kecepatan alir fluida.

2. 2. 7. Wind Tunnel

Wind tunnel atau terowongan angin adalah alat yang digunakan dalam penelitian aerodinamis untuk mempelajari efek udara yang bergerak melewati benda padat. Terdapat dua jenis *wind tunnel*, yakni *wind tunnel* dengan sirkuit terbuka dan *wind tunnel* dengan sirkuit tertutup (Lihat Gambar 2.5). Pada *wind tunnel* sirkuit tertutup udara yang melewati seksi uji disedot oleh kipas untuk dialirkan ke seksi uji, hal ini berlangsung secara terus menerus. Sedangkan pada *wind tunnel* sirkuit terbuka, udara dialirkan ke seksi uji menggunakan kipas penyedot kemudian dibuang pada sisi lainnya.



Gambar 2.5 (a) skema *wind tunnel* sirkuit terbuka ; (b) skema *wind tunnel* sirkuit tertutup (Singh dkk, 2013)

2. 2. 8. Anemometer

Anemometer adalah alat untuk mengukur kecepatan udara. Anemometer mendeteksi perubahan beberapa sifat fisik fluida yang ditransfer menjadi data kecepatan aliran. Pada pengujian ini, anemometer digunakan sebagai kalibrasi dan sebagai alat ukur kecepatan udara yang mengalir pada *wind tunnel* (Lihat Gambar 2.6).



Gambar 2.6 Perangkat Anemometer yang digunakan dalam pengujian (BBTA3-BPPT, 2016)

2. 2. 9. *Smoke Generator*



Gambar 2.7 *Smoke generator* yang digunakan dalam pengujian (BBTA3-BPPT, 2016)

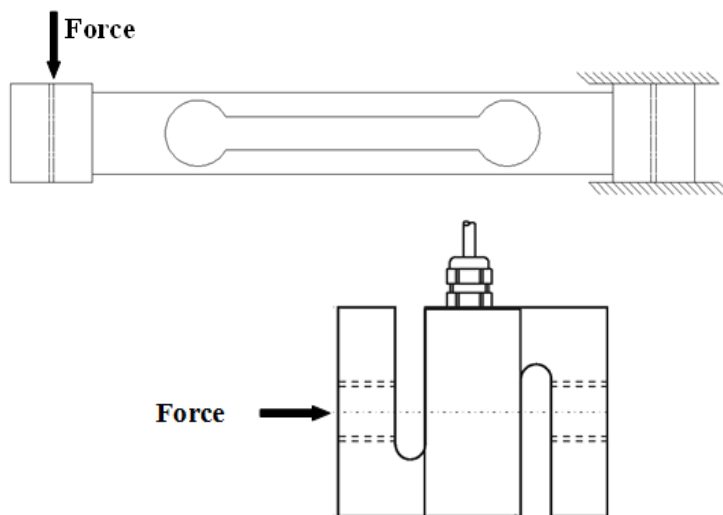
Smoke generator atau pembangkit asap, merupakan salah satu alat yang digunakan untuk pengujian visualisasi pola aliran. Asap yang dibangkitkan seperti halnya pembakaran benda pada umumnya. Asap yang dihasilkan ditiupkan untuk

mengalir pada silinder yang diuji. pada saat melewati silinder tersebut asap akan membentuk suatu pola yang akan dianalisis dalam pengujian ini (Lihat Gambar 2.7).

2. 2. 10. Load Cell



Gambar 2.8 Load Cell (a) *S-Beam* dan (b) *Beam* yang digunakan dalam pengujian (BBTA3-BPPT, 2016)



Gambar 2.9 Skema pembacaan gaya pada *load cell single axis* untuk tipe *beam* dan *s-beam* (Dokumen pribadi)

Load cell adalah alat uji perangkat listrik yang dapat mengubah suatu energi menjadi energi lain. *load cell* digunakan untuk mendeteksi gaya dan merubahnya dalam bentuk sinyal listrik. Terdapat tiga jenis *load cell* berdasarkan cara kerjanya, *pneumatic load cell*, *hydraulics load cell*, dan *strain gauge load cell*.

Pada penelitian ini menggunakan *strain gauge cell*, dimana *load cell* jenis ini mendeteksi deformasi untuk menentukan besarnya gaya yang bekerja yang kemudian ditransfer menjadi sinyal elektrik. Load cell digunakan untuk mengukur besarnya gaya drag dan gaya lift yang terjadi pada silinder. Pada pengujian ini, *load cell* yang digunakan adalah jenis *single axis S-Beam* dan *Beam* (Lihat Gambar 2.8)

Selain itu *load cell* terbagi menjadi 2 jenis berdasarkan pembacaannya, *single axis* dan *multi axis*. Pada *load cell single axis*, *load cell* hanya dapat membaca satu arah gaya translasi saja. Sedangkan *load cell multi axis* dapat membaca lebih dari satu gaya, bahkan hingga 3 arah translasi dan 3 arah rotasi. Pada Tugas Akhir ini, kami menggunakan *load single axis*, tipe S dan tipe *beam*. Adapun prinsip dari *load cell single axis* kedua tipe ini dijelaskan pada Gambar 2.9.

2. 2. 11. High Speed Camera

High Speed camera adalah kamera yang memiliki kemampuan untuk menangkap objek yang bergerak cepat. Kamera ini biasa memiliki kemampuan 1000 fps (*frame per second*) atau dapat menangkap 1000 gambar dalam 1 detik. Hasil rekamannya dapat diputar kembali dalam gerak lambat sehingga dapat dilihat kembali detail peristiwa yang terjadi. Pada penelitian ini, *high speed camera* digunakan untuk pengujian visualisasi aliran fluida (Lihat Gambar 2.10).



Gambar 2.10 *High speed camera* yang digunakan pada pengujian eksperimen
(BBTA3-BPPT, 2016)

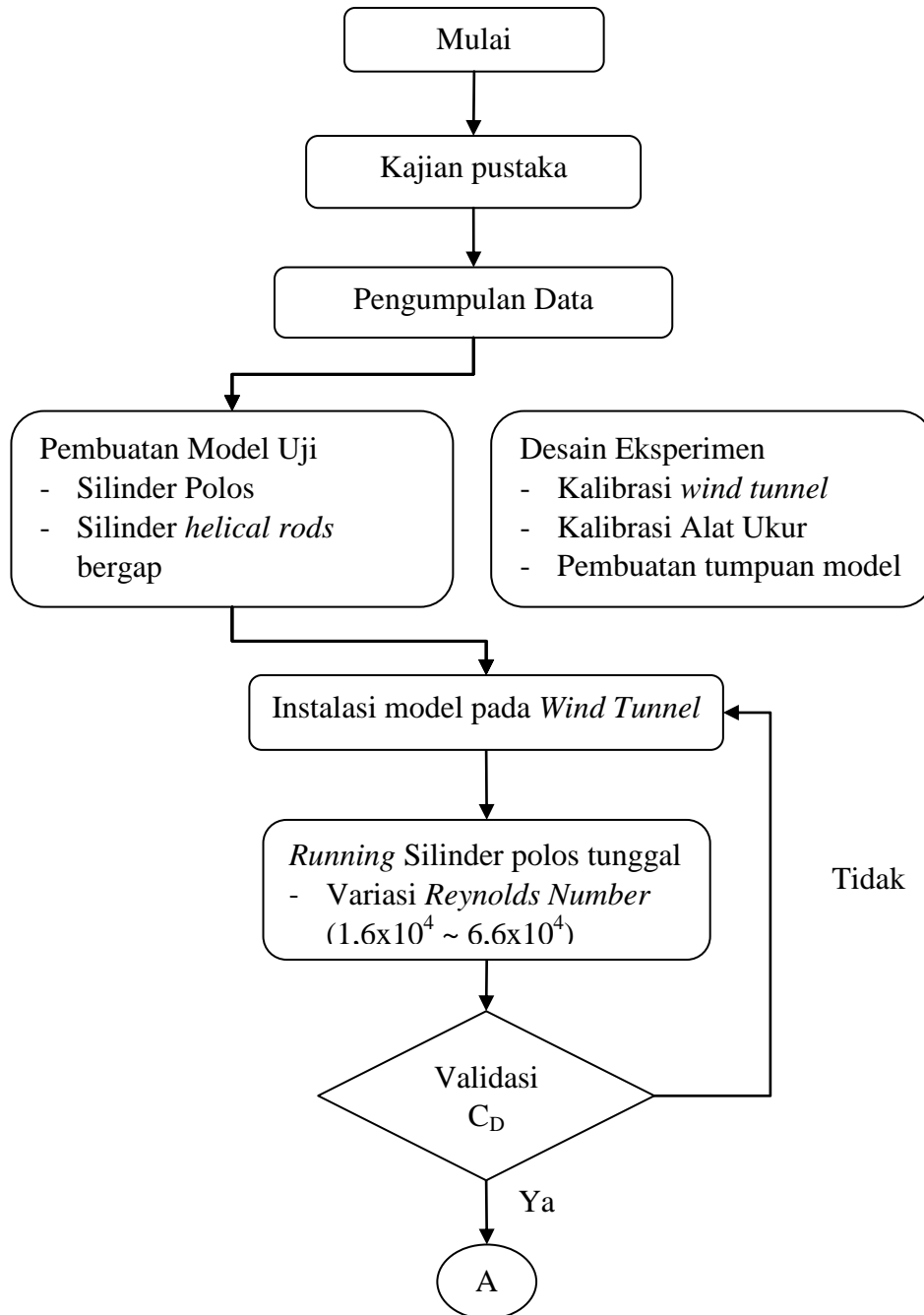
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

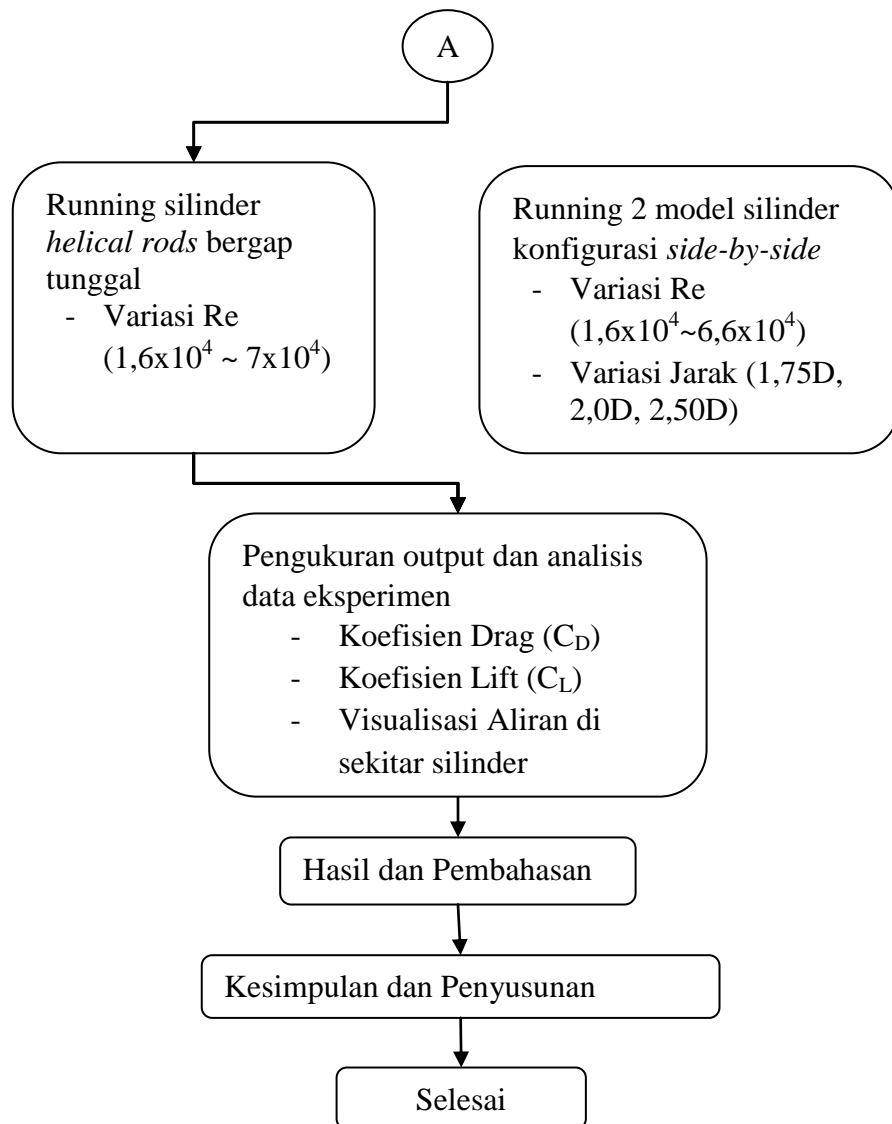
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 SKETSA DIAGRAM ALIR

Berikut ini adalah sketsa diagram alir dari penelitian tugas akhir ini yang dijelaskan pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian Tugas Akhir



Gambar 3.2 Diagram alir Penelitian Tugas Akhir (Lanjutan)

3.2 KAJIAN PUSTAKA

Penelitian ini dimulai dengan melakukan kajian dari publikasi ilmiah dari literatur terbuka, baik jurnal, proceeding, thesis, maupun tugas akhir yang terkait dengan penelitian yang akan dilakukan. Kajian pustaka ini dilakukan untuk dijadikan acuan dalam penelitian yang akan dilakukan.

3.3 PENGUMPULAN DATA

Penelitian ini akan dilakukan di Laboratorium LSWT (*Low Speed Wind Tunnel*) Balai Besar Teknologi Aeodinamika, Aeolastika dan Aeroakustika

(BBTA3), Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) di Kawasan PUSPITEK Serpong, Tangerang Selatan, Banten (lihat Gambar 3.3). LSWT ini memiliki seksi uji $0.72 \text{ m} \times 0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$, dengan kecepatan angin maksimum di seksi uji adalah 45 m/s dan angin yang dibangkitkan berupa *homogen steady flow*.



Gambar 3.3 Low Speed Wind Tunnel yang digunakan untuk pengujian
(BBTA3-BPPT, 2016)

3.4 PEMBUATAN MODEL EKSPERIMEN

Model yang akan diuji mengacu pada model yang telah diteliti oleh Sugiwanto (2011) dan Al-Musthofa (2014) dengan rasio diameter *rods* $0,0625D$ dan rasio gap $0,0625D$. Dengan mempertimbangkan ketersediaan bahan di pasar dan keterbatasan seksi uji, maka dimensi yang akan digunakan tertera pada tabel 3.1. Adapun gambar model uji baik silinder polos dan silinder dengan *helical rods* bergap tertera pada Gambar 3.4 dan 3.5.

Tabel 3.1 Dimensi Model uji

Data	Rasio	Nilai (cm)
Panjang silinder (L)		48
Diameter silinder (D)		5,08
Diameter rod (d)	$0.0625D$	0,3
Gap (g)	$0.0625D$	0,3
End Plate		8



Gambar 3.4 Model uji silinder Polos



Gambar 3.5 Model uji silinder dengan *helical rods* bergap

3.5 DESAIN DAN PERSIAPAN EKSPERIMEN

Untuk mencapai kondisi batas yang telah ditentukan, maka perlu perencanaan sebelum melakukan pengujian. Perencanaan tersebut diantaranya adalah pembuatan tumpuan dan pemasangan model pada tumpuan.

3.5.1 Pembuatan Tumpuan

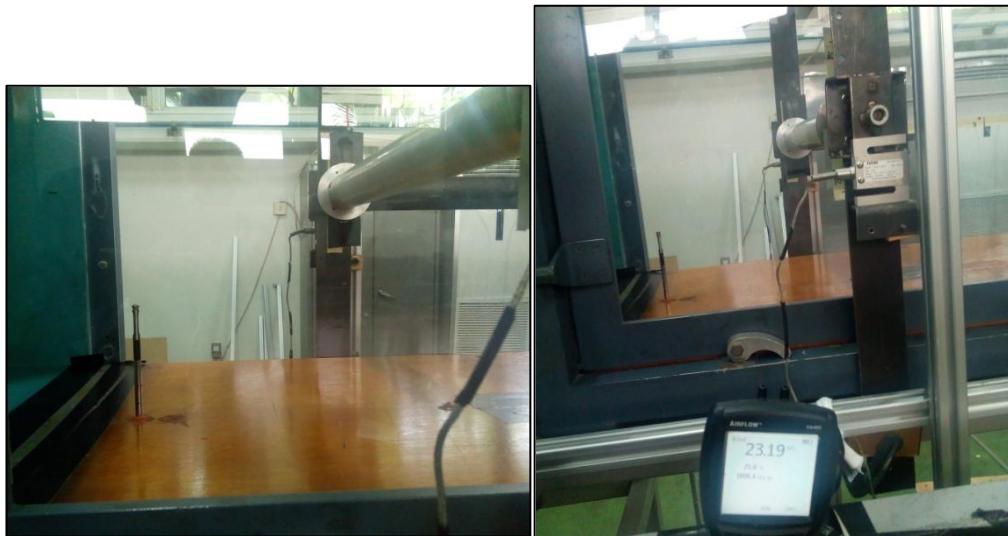
Pada pengujian gaya, model uji terpasang secara *roll* di kedua ujung silinder. Dimana arah gaya yang diuji bertumpu bebas yang kemudian ditahan oleh *load cell* untuk pembacaan besar gaya yang terjadi. Sehingga apabila untuk membaca gaya drag, maka tumpuan yang arahnya sejajar dengan arah aliran bertumpu bebas. Sedangkan untuk gaya lift, arah yang tegak lurus dengan arah aliran fluida bertumpu bebas.

3.5.2 Instalasi pada *Wind Tunnel*

Setelah model dan tumpuan terpasang, langkah selanjutnya adalah tahap instalasi. Tahap instalasi meliputi : pemasangan dinding seksi uji, pemasangan pelat tumpuan, pemasangan model uji, dan pemasangan alat ukur. Dinding seksi

uji yang dipasang merupakan dinding yang kedua sisinya dilubangi. Lubang tersebut dibuat untuk memungkinkan variasi jarak dan menghubungkan model pada tumpuan.

Setelah pemasangan dinding seksi uji, selanjutnya adalah pemasangan alat ukur anemometer. Anemometer dipasang didepan model yang diletakkan dengan ketinggian 10 cm dari dasar seksi uji. Kemudian setelahnya dilakukan pemasangan model dan pelat tumpuan. (lihat Gambar 3.6)



Gambar 3.6 Pemasangan alat ukur, pelat tumpuan, dan model. (Dokumen Pribadi)

3.6 KALIBRASI ALAT UKUR

Kalibrasi alat ukur dilakukan bertujuan untuk mengetahui keakuratan data yang diukur oleh alat ukur tersebut. adapun dalam eksperimen ini, ada beberapa alat ukur yang dikalibrasi, yaitu kalibrasi *fan driver wind tunnel* dan kalibrasi sensor *load cell*.

3.6.1 Kalibrasi *Fan Driver Wind Tunnel*

Aliran Fluida udara yang mengalir pada *wind tunnel* dibangkitkan melalui *fan* (kipas). *Fan* tersebut diatur dalam sebuah *control panel* dengan mengatur frekuensi putaran dari *fan* tersebut. sehingga perlu diukur terlebih dahulu hubungan antara frekuensi putaran *fan* dengan kecepatan aliran pada *wind tunnel*. Perlu diketahui bahwa pengaruh *frontal area* dalam seksi uji mempengaruhi frekuensi putaran *fan* untuk membangkitkan kecepatan yang sama, sehingga

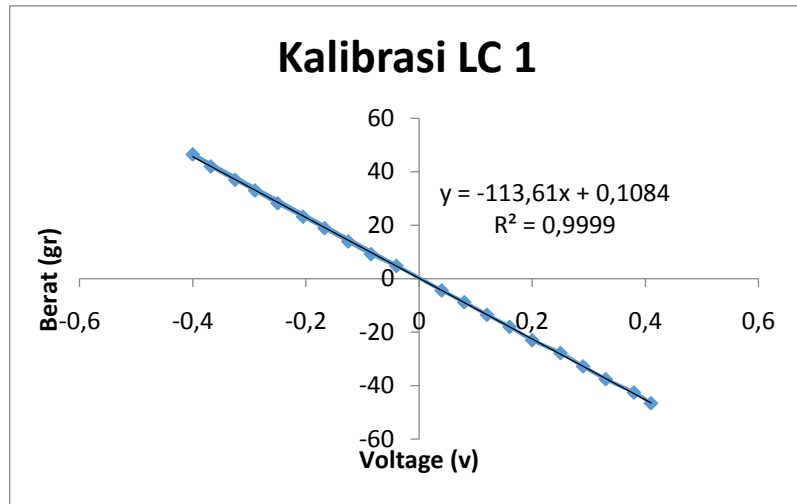
setiap pengujian terlebih dahulu dilakukan pengukuran ini. Tabel hubungan frekuensi putaran fan dengan kecepatan angin pada setiap pengujian disajikan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Hubungan frekuensi putaran fan dengan kecepatan angin untuk pengujian pada setiap model dan konfigurasi.

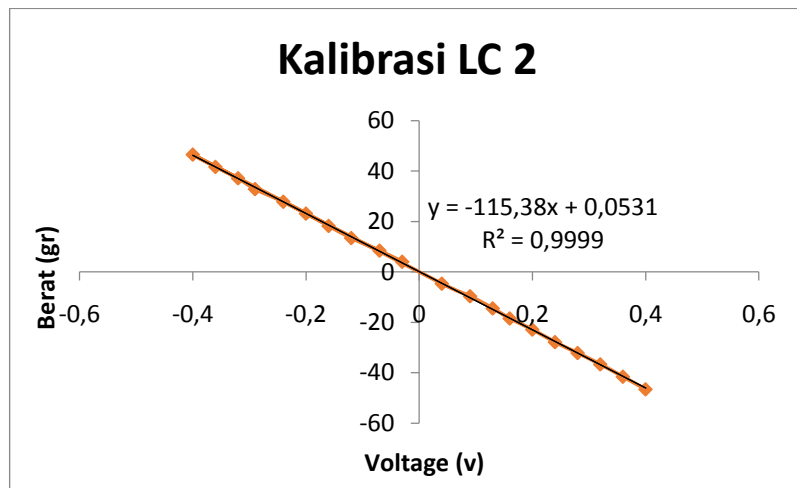
(a) Silinder polos Tunggal		(b) Silinder helic Tunggal		(c) Side-by-side T/D = 1,75		(d) Side-by-side T/D = 2,00		(e) Side-by-side T/D = 2,50	
V (m/s)	F (Hz)	V (m/s)	F (Hz)	V (m/s)	F (Hz)	V (m/s)	F (Hz)	V (m/s)	F (Hz)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	6.9	5	6.9	5	7.3	5	7.3	5	7.3
6	8.3	6	8.3	6	8.7	6	8.7	6	8.7
7	9.65	7	9.65	7	10	7	10.1	7	10.2
8	10.9	8	10.9	8	11.3	8	11.4	8	11.55
9	12.15	9	12.15	9	12.8	9	12.8	9	13
10	13.4	10	13.5	10	14.2	10	14.2	10	14.35
11	14.6	11	14.7	11	15.7	11	15.9	11	15.8
12	15.9	12	16.1	12	17.1	12	17.3	12	17.1
13	17.1	13	17.35	13	18.6	13	18.7	13	18.5
14	18.3	14	18.6	14	20	14	20.1	14	19.9
15	19.5	15	19.9	15	21.4	15	21.5	15	21.2
16	20.85	16	21.2	16	22.7	16	22.9	16	22.6
17	22.1	17	22.4	17	24.1	17	24.3	17	24
18	23.4	18	23.7	18	25.45	18	25.7	18	25.3
19	24.6	19	24.9	19	26.7	19	27	19	26.6
20	25.8	20	26	20	28	20	28.3	20	27.9

3.6.2 Kalibrasi Sensor *Load Cell*

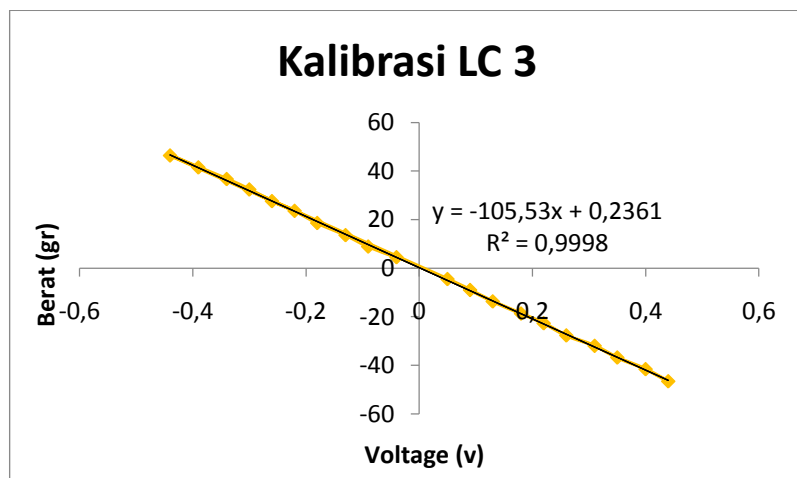
Pada pengujian gaya, kedua ujung model uji dipasang sensor *load cell*. Sehingga untuk pengujian dibutuhkan 4 *load cell*. Adapun *load cell* yang digunakan adalah 3 *load cell* jenis S dengan kapasitas 25 lb atau 11.11 kg dan 1 jenis *load cell beam* dengan kapasitas 10 kg. Secara umum cara kerja *load cell* adalah memberikan sinyal listrik ketika dikenai beban tertentu. Sinyal listrik inilah yang kemudian diubah menjadi besaran beban atau gaya. Agar pembacaan gaya pada *load cell* sesuai, maka perlu dilakukan kalibrasi *load cell*. Detail proses kalibrasi dijelaskan pada lampiran. Hasil kalibrasi dari masing masing *load cell* tersaji pada Gambar 3.7, Gambar 3.8, Gambar 3.9 dan Gambar 3.10.



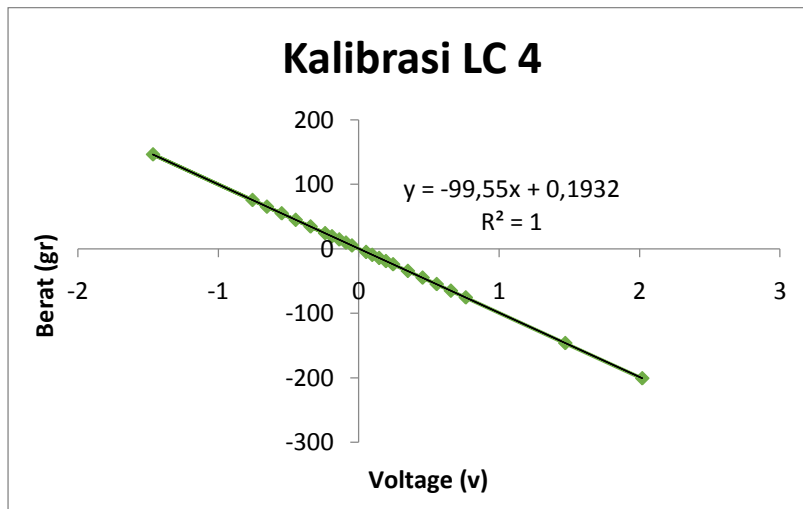
Gambar 3.7 Hasil kalibrasi *load cell* S-beam (LC1)



Gambar 3.8 Hasil kalibrasi *load cell* S-beam (LC2)



Gambar 3.9 Hasil kalibrasi *load cell* S-beam (LC3)



Gambar 3.10 Hasil kalibrasi *load cell* Beam (LC4)

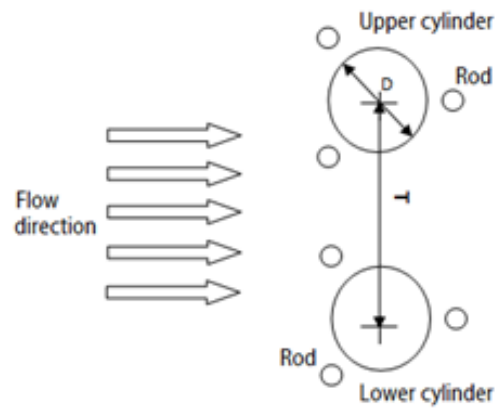
3.7 RUNNING PENGUJIAN

3.7.1 Pengujian Silinder Tunggal Sebagai Validasi

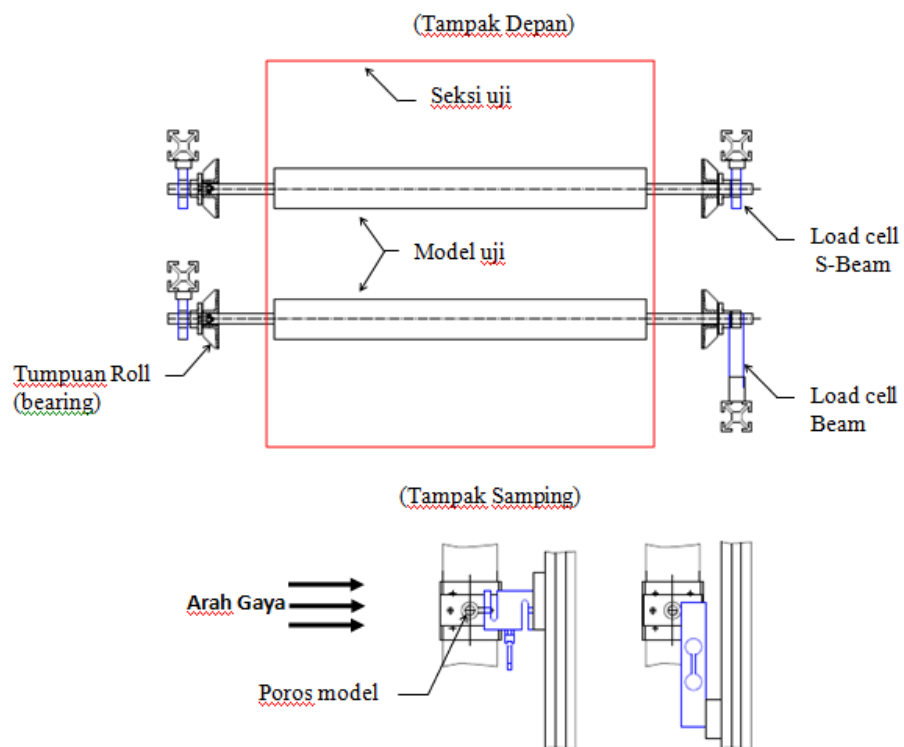
Sebagai validasi bahwa komponen *wind tunnel* dan instalasi telah dilakukan dengan baik, maka terlebih dahulu dilakukan pengujian silinder polos tunggal. pengujian ini dilakukan dengan 15 variasi kecepatan (5 ~ 20 m/s atau $Re = 1,6 \times 10^4 \sim 6,6 \times 10^4$) dengan mengukur gaya drag pada silinder. Setelah itu hasil pengujian dikomparasikan dengan referensi yang terkait. Apabila hasil tersebut bisa diterima artinya tervalidasi, selanjutnya adalah melakukan pengujian pada silinder *helical rods* bergap dengan variasi kecepatan yang sama. Untuk membuktikan adanya pengaruh rods, hasil C_D pada silinder polos tunggal dibandingkan pula dengan hasil C_D pada silinder *helical rods* bergap tunggal

3.7.2 Pengujian Silinder Konfigurasi *Side-by-side*

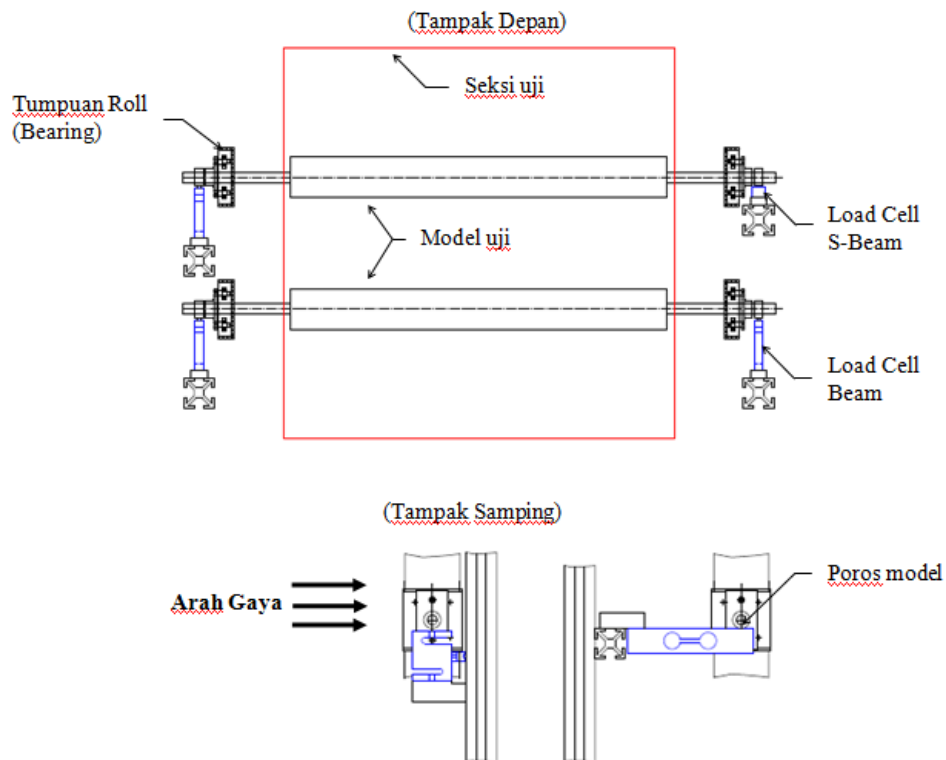
Pada pengujian silinder konfigurasi *side-by-side*, terdapat 2 silinder *helical rods* bergap yang diuji. silinder tersebut dipasang pada seksi uji disusun atas dan bawah serta tegak lurus terhadap arah aliran fluida. Pengujian dilakukan dengan variasi jarak antar silinder (T) 1,75D, 2,00D dan 2,50D pada variasi kecepatan 5 - 20 m/s atau $Re = 1,6 \times 10^4 \sim 6,6 \times 10^4$ (lihat Gambar 3.11). Adapun detail instalasi pada seksi uji diilustrasikan pada Gambar 3.12, Gambar 3.13 dan Gambar 3.14.



Gambar 3.11 Ilustrasi pengujian variasi jarak pada konfigurasi *side-by-side*



Gambar 3.12 Ilustrasi Instalasi load cell untuk pengujian gaya drag di *wind tunnel*



Gambar 3.13 Ilustrasi instalasi load cell untuk pengujian gaya lift di *wind tunnel*

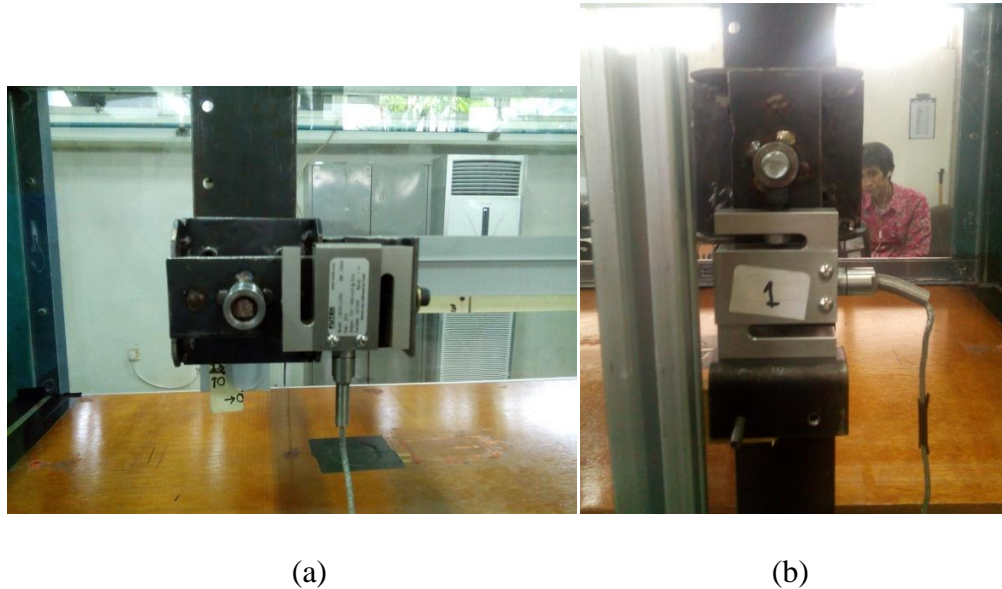


Gambar 3.14 Contoh pemasangan silinder konfigurasi *side-by-side* pada *wind tunnel*

3.8 PENGUJIAN GAYA DRAG DAN LIFT

Pengujian gaya dilakukan dengan menggunakan sensor *load cell*. *Load cell* diletakkan pada kedua ujung silinder. untuk pengujian gaya drag, arah yang sejajar dengan arah aliran ditahan oleh *load cell*. Sedangkan untuk pengujian gaya

lift, arah yang tegak lurus dengan arah aliran yang ditahan oleh *load cell*. Berikut ini gambar pemasangan *load cell* pada silinder untuk pengujian gaya drag dan gaya lift yang disajikan dalam Gambar 3.15.



Gambar 3.15 Pemasangan *load cell* untuk pengujian (a) gaya drag ; (b) gaya lift

3.9 PENGUJIAN VISUALISASI ALIRAN

Tahap selanjutnya adalah eksperimen visualisasi pola aliran fluida dengan menggunakan *smoke generator*. Pada eksperimen ini, fluida yang mengalir, dalam hal ini udara, diberi asap untuk dapat terlihat pola aliran yang terjadi. Asap didapat seperti halnya proses pembakaran biasa (lihat Gambar 3.16).



Gamba 3.16 Kondisi pengambilan *flow visualization* menggunakan *high speed camera*

Sedangkan pengambilan gambar pola aliran menggunakan *High speed camera* dengan menggunakan lampu LED sebagai pencahayaannya. Kamera ini dapat menangkap atau merekam hingga 1000 fps (*frame per second*). Namun karena pertimbangan teknis seperti frekuensi cahaya LED yang lebih rendah dan ketebalan asap yang bisa ditangkap, maka kamera diset merekam 300 fps. Untuk pengujian visualisasi pola aliran kecepatan yang diujikan adalah 5 m/s.

3.10 HASIL DAN ANALISIS

Pada tahap ini, hasil pengukuran yang didapat adalah besarnya gaya drag dan gaya lift yang terjadi. Seperti yang telah dijelaskan pada Bab sebelumnya, bahwa komponen gaya drag terdiri dari gaya drag rata-rata dan gaya osilasi seperti yang dijelaskan pada Persamaan 2.7. Sedangkan untuk gaya lift, komponen gaya lift terdiri dari gaya osilasi saja karena nilai gaya lift rata-rata disekitar nol (lihat Persamaan 2.6). Hasil pengukuran gaya fluida disajikan dalam bentuk bilangan tak berdimensi yakni koefisien drag rata-rata ($\overline{C_D}$), koefisien drag *root means square* (C_{Drms}), koefisien lift rata-rata ($\overline{C_L}$) dan koefisien lift *root mean square* (C_{Lrms}).

Selanjutnya setelah dilakukan pengujian menggunakan smoke generator, kita akan mendapatkan hasil visual pola aliran yang terjadi. Pada tahap ini akan dianalisis, bagaimana pola aliran yang terjadi di belakang silinder dengan variasi jarak dan kecepatan yang dilakukan.

3.11 KESIMPULAN DAN PENYUSUNAN LAPORAN

Setelah dilakukan pengujian dan didapatkan hasil dari analisis, maka tahap selanjutnya adalah penarikan kesimpulan dari serangkaian pengujian yang telah dilakukan. Kemudian, dilakukan penyusunan laporan. Penyusunan laporan pada dasarnya dilakukan secara bertahap, dimulai dari kajian pustaka yang dilakukan hingga penarikan kesimpulan. Bagian inti dari laporan adalah analisis dan pembahasan, dimana pada bab ini diulas mengenai analisis dari pengukuran yang dilakukan dan hasil yang didapat. Laporan ini diselesaikan dengan penarikan kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

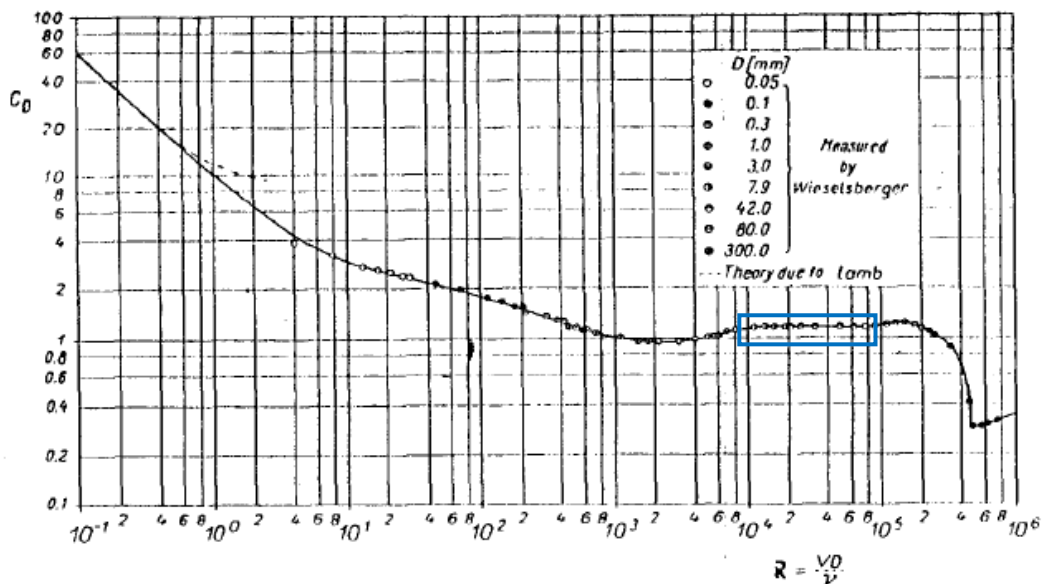
Dalam bab ini akan diuraikan hasil-hasil penelitian yang sudah dicapai meliputi hasil-hasil pengujian eksperimen di *wind tunnel* beserta hasil analisisnya.

Hasil-hasil eksperimen yang disajikan meliputi : validasi model pengujian, hasil pengukuran gaya fluida (drag dan lift), hasil visualisasi pola aliran di belakang model pada silinder dengan *helical rods* ber-gap tunggal (*helic*) dan jamak konfigurasi *side-by-side*.

Sedangkan untuk detail analisis pengolahan data dan pekerjaan-pekerjaan eksperimen yang dilakukan seperti persiapan *wind tunnel*, pembuatan model uji, kalibrasi wind tunnel dan beberapa alat ukur dijelaskan dalam Lampiran.

4.1 VALIDASI MODEL

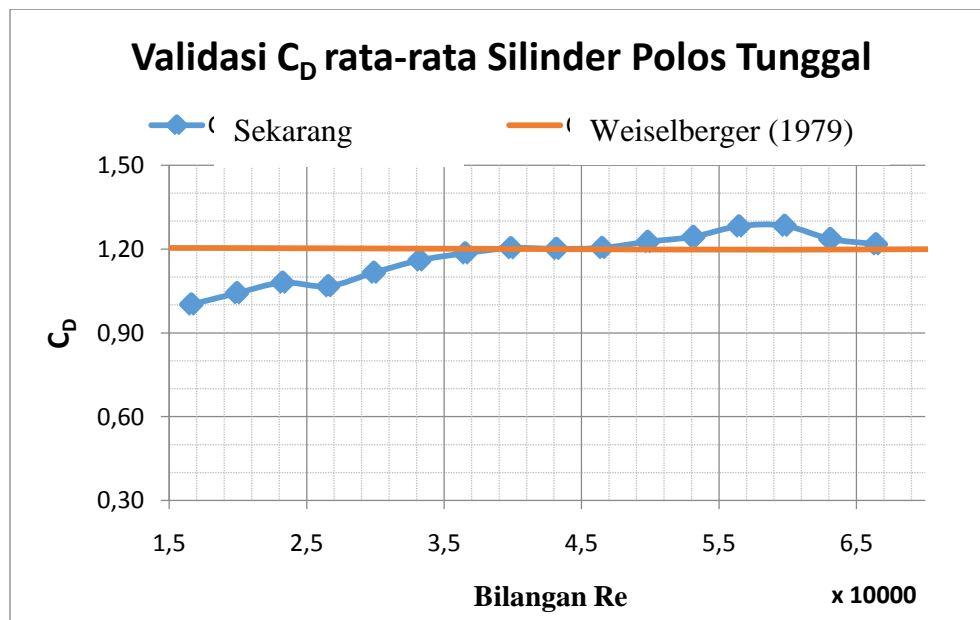
Untuk menjamin akurasi pengujian, maka dilakukan pengukuran $\overline{C_D}$ untuk kasus silinder polos tunggal. Hasil pengujian ini dibandingkan dengan hasil pengujian $\overline{C_D}$ oleh Weiselberger dalam Schlichting (1979) (Gambar 4.1) sebagai validasi hasil yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 dan Tabel 4.2



Gambar 4.1 Grafik Koefisien drag ($\overline{C_D}$) pada silinder polos tunggal oleh Weiselberger sebagai perbandingan referensi

Tabel 4.1 Perbandingan $\overline{C_D}$ pada silinder polos pengujian vs silinder polos referensi

Kecepatan (m/s)	Kecepatan actual (m/s)	Re	Nilai $\overline{C_D}$		Selisih	Presentase error (%)
			Sekarang	Referensi		
5	5,02	16368,57	1,002	1,20	0,21	19,806
6	6,01	19526,71	1,042	1,20	0,18	15,763
7	7,02	22781,12	1,080	1,20	0,14	12,009
8	7,97	25851,24	1,067	1,20	0,16	13,296
9	8,99	29133,64	1,115	1,20	0,11	8,460
10	9,97	32299,97	1,159	1,20	0,07	4,059
11	11,04	35759,33	1,185	1,20	0,03	1,544
12	12,02	38933,62	1,203	1,20	0,02	-0,319
13	12,99	42021,39	1,201	1,20	0,03	-0,063
14	13,99	45287,69	1,204	1,20	0,03	-0,374
15	14,98	48458,85	1,226	1,20	0,01	-2,572
16	15,95	51591,56	1,243	1,20	-0,01	-4,347
17	17,01	54943,99	1,281	1,20	-0,05	-8,098
18	18,00	58182,10	1,283	1,20	-0,05	-8,319
19	18,97	61281,10	1,236	1,20	0,00	-3,614
20	20,03	64698,89	1,217	1,20	0,01	-1,723

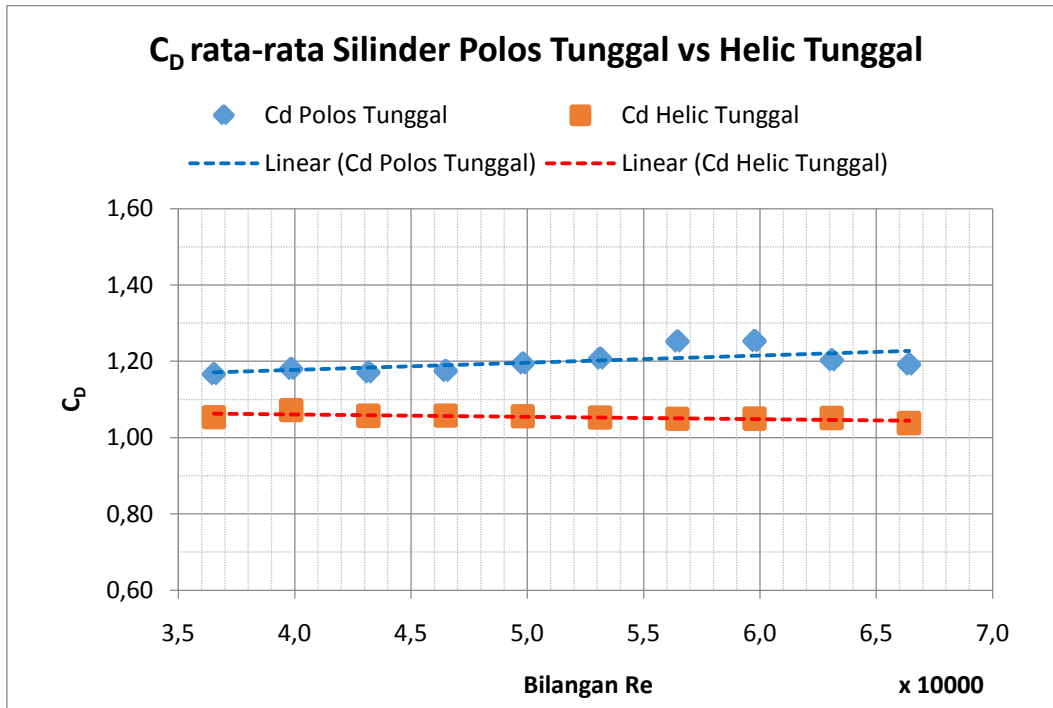


Gambar 4.2 Perbandingan $\overline{C_D}$ silinder polos dengan $\overline{C_D}$ referensi sebagai validasi eksperimen

Tabel 4.1 menunjukkan selisih $\overline{C_D}$ pada silinder polos tunggal sekarang dan referensi. Nilai $\overline{C_D}$ referensi pada rentang $Re = 10^4 \sim 10^5$ bernilai rata-rata 1,2 (lihat Gambar 4.1). Pada Gambar 4.2 merupakan plot koefisien drag ($\overline{C_D}$) pada silinder polos hasil eksperimen berbanding dengan plot $\overline{C_D}$ penelitian yang relevan pada $Re = 1 \times 10^4 \sim 7 \times 10^4$. Pada Re rendah ($Re = 1,6 \times 10^4 \sim 3,2 \times 10^4$) terdapat perbedaan yang nilai $\overline{C_D}$ berkisar antara 0,1 ~ 0,2. Perbedaan nilai ini dimungkinkan karena dua hal. Pertama, karena *wind tunnel* ini memiliki seksi uji yang cukup besar dimana fan penggeraknya juga besar sehingga untuk kecepatan rendah dibawah 10 m/s masih belum memberikan kecepatan yang stabil. Yang kedua, karena instalasi tumpuan load cell. Pengaruh *bearing* dari tumpuan yang memberikan tahanan sehingga mengurangi sensitivitas *load cell*. Namun pada Re yang lebih tinggi ($3,2 \times 10^4 \sim 6,6 \times 10^4$) nilai $\overline{C_D}$ menunjukkan hasil yang sangat baik, meski pada rentang $Re = 5,4 \times 10^4 \sim 5,8 \times 10^4$ terjadi sedikit kenaikan nilai $\overline{C_D}$. sehingga dapat dikatakan bahwa hasil pengujian pada Re yang lebih tinggi dapat diterima dengan baik.

Tabel 4.2 Perbandingan hasil $\overline{C_D}$ pada silinder polos vs silinder dengan *helical rods* bergap pada Re yang tervalidasi dengan baik

Kec. (m/s)	Silinder Polos		Silinder helical rods bergap		$\overline{C_D}$		selisih	selisih (%)
	Kec. aktual (m/s)	Re	Kec. aktual (m/s)	Re	silinder polos	silinder helic		
10	9.97	32299.97	10.03	32529.89	1.159	1.072	0.087	7.50
11	11.04	35759.33	10.98	35586.29	1.185	1.081	0.104	8.74
12	12.02	38933.62	11.96	38762.47	1.203	1.103	0.100	8.30
13	12.99	42021.39	12.95	41996.02	1.201	1.089	0.112	9.29
14	13.99	45287.69	13.96	45249.01	1.204	1.087	0.116	9.67
15	14.98	48458.85	15.01	48647.55	1.226	1.078	0.148	12.03
16	15.95	51591.56	16.02	51833.76	1.243	1.075	0.169	13.57
17	17.01	54943.99	16.96	54875.19	1.281	1.079	0.202	15.80
18	18.00	58182.10	17.99	58213.63	1.283	1.075	0.208	16.20
19	18.97	61281.10	19.03	61542.44	1.236	1.073	0.163	13.22
20	20.03	64698.89	20.04	64802.28	1.217	1.058	0.159	13.06



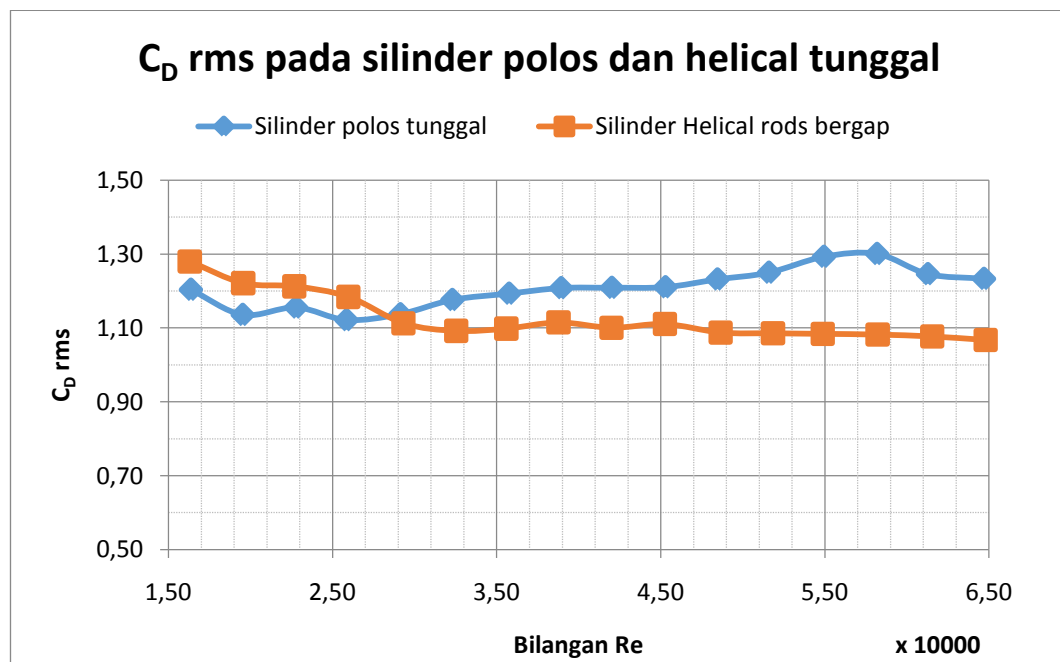
Gambar 4.3 Perbandingan $\overline{C_D}$ Silinder polos vs Silinder dengan *helical rods* ber-gap tunggal

Sementara itu efek penambahan *helical rods* ber-gap pada silinder secara keseluruhan memberikan reduksi pada setiap Re yang tervalidasi dengan baik ($Re > 3,2 \times 10^4$) seperti terlihat pada Gambar 4.3 dan Tabel 4.2. Pada rentang Re ini, hasil rata-rata $\overline{C_D}$ pada silinder tunggal polos berkisar 1,2 sedangkan untuk rata-rata nilai $\overline{C_D}$ pada silinder *helical rods* bergap tunggal 1,05. Sehingga reduksi rata-rata $\overline{C_D}$ sebesar 12,5 % dan reduksi paling signifikan terjadi pada $Re = 5,8 \times 10^4$ sebesar 16,2 %.

Sedangkan hasil pengujian C_{Drms} disajikan pada Gambar 4.4 dan Tabel 4.3. Pada rentang $Re < 3,2 \times 10^4$, dimana merupakan rentang Re yang tidak tervalidasi dengan baik, plot C_{Drms} pada silinder *helical rods* bergap berada dibawah grafik C_{Drms} . Namun pada rentang Re yang tervalidasi dengan baik, $Re > 3,2 \times 10^4$, C_{Drms} pada *helical rods* bergap lebih rendah dibandingkan C_{Drms} pada kasus silinder polos. Sehingga dapat dikatakan, *helical rods* bergap pada silinder mampu meredam gaya drag osilasi yang terjadi pada silinder. Reduksi terbesar pada C_{Drms} terjadi pada $Re = 5,8 \times 10^4$ dengan 16,81 %.

Tabel 4.3 Perbandingan hasil C_{Drms} pada silinder polos vs silinder dengan *helical rods* bergap pada Re yang tervalidasi dengan baik

Kec. (m/s)	Silinder Polos		Silinder helical rods bergap		C_{Drms}		selisih	selisih (%)
	Kec. aktual (m/s)	Re	Kec. aktual (m/s)	Re	silinder polos	silinder helic		
10	9.97	32299.97	10.03	32529.89	1.176	1.092	0.084	7.13
11	11.04	35759.33	10.98	35586.29	1.193	1.098	0.095	7.96
12	12.02	38933.62	11.96	38762.47	1.208	1.115	0.093	7.72
13	12.99	42021.39	12.95	41996.02	1.209	1.100	0.108	8.97
14	13.99	45287.69	13.96	45249.01	1.211	1.111	0.100	8.26
15	14.98	48458.85	15.01	48647.55	1.232	1.088	0.144	11.69
16	15.95	51591.56	16.02	51833.76	1.250	1.086	0.164	13.15
17	17.01	54943.99	16.96	54875.19	1.293	1.084	0.209	16.16
18	18.00	58182.10	17.99	58213.63	1.301	1.082	0.219	16.81
19	18.97	61281.10	19.03	61542.44	1.246	1.077	0.169	13.57
20	20.03	64698.89	20.04	64802.28	1.233	1.067	0.166	13.43



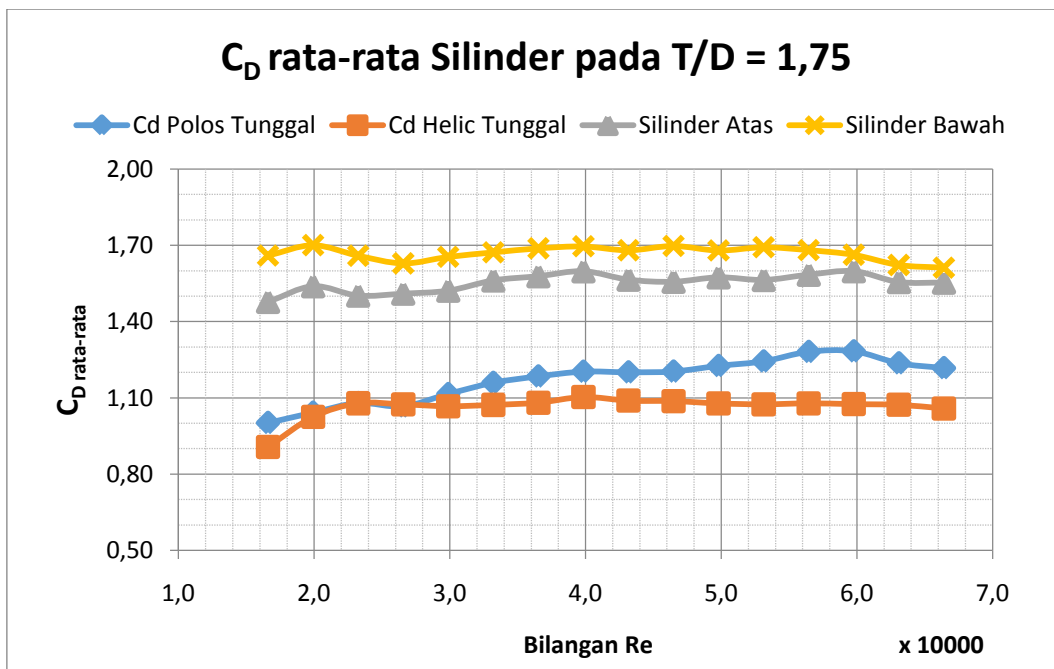
Gambar 4.4 Perbandingan C_{Drms} Silinder polos vs Silinder dengan *helical rods* ber-gap tunggal

4.2 GAYA DRAG PADA SILINDER JAMAK *SIDE-BY-SIDE*

Pengujian gaya drag pada silinder jamak konfigurasi *side-by-side* dilakukan dengan 3 variasi jarak, yaitu 1,75D, 2,00D dan 2,50D. Seperti yang telah dijelaskan pada Bab 2 bahwa komponen gaya drag terdiri atas gaya drag rata-rata dan gaya osilasi. Komponen gaya drag rata-rata disajikan dalam koefisien drag rata-rata ($\overline{C_D}$) yang merupakan hasil dari rata-rata dari seluruh pengambilan data dalam satu pengujian. Sedangkan komponen osilasi gaya drag didapat dari hasil *root mean square* dari seluruh data dalam satu pengujian yang kemudian disajikan dalam koefisien drag *root mean square* ($C_{D_{rms}}$).

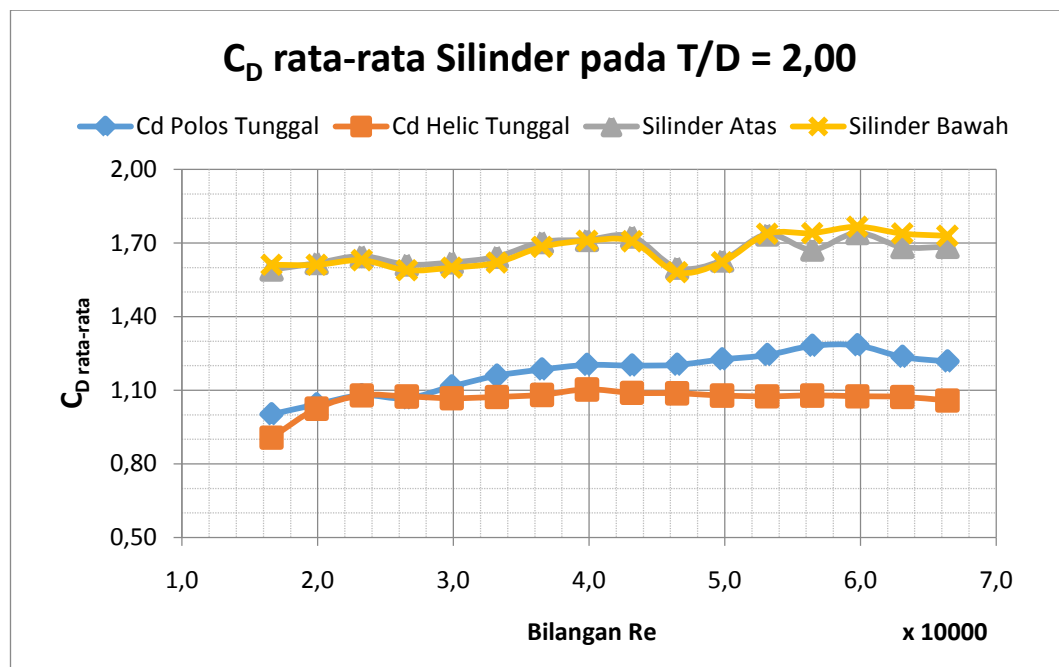
4.2.1 Gaya Drag Rata-rata

Hasil Pengukuran $\overline{C_D}$ pada konfigurasi *side-by-side* dapat dilihat pada Gambar 4.5, Gambar 4.6 dan Gambar 4.7. Secara umum, jarak yang diujikan pada konfigurasi *side-by-side* memberikan pengaruh satu sama lain sehingga $\overline{C_D}$ pada konfigurasi *side-by-side* lebih tinggi dibandingkan $\overline{C_D}$ pada silinder tunggal, baik pada silinder polos maupun silinder dengan helical rods bergap.



Gambar 4.5 Perbandingan hasil $\overline{C_D}$ pada masing-masing silinder pada konfigurasi *side-by-side* T/D = 1.75

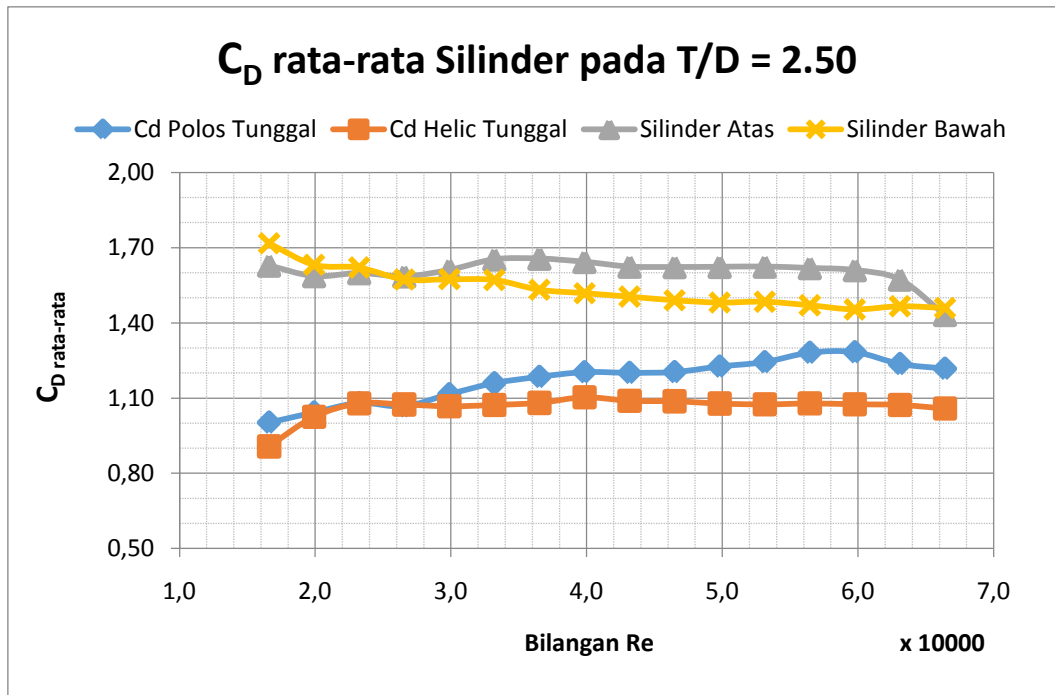
Pada Gambar 4.5 menunjukkan $\overline{C_D}$ silinder konfigurasi *side-by-side* pada jarak 1,75D. Pada grafik tersebut, tren grafik $\overline{C_D}$ pada silinder bawah dan silinder atas terlihat serupa namun $\overline{C_D}$ pada silinder bawah mengalami peningkatan lebih tinggi dibandingkan pada silinder atas. $\overline{C_D}$ terbesar pada jarak 1,75D silinder atas terjadi pada $Re = 3,9 \times 10^4$ sebesar 1,598, dan untuk silinder bawah terjadi pada $Re = 1,9 \times 10^4$ sebesar 1,696. Peningkatan $\overline{C_D}$ terbesar terjadi pada $Re = 1,6 \times 10^4$ baik pada silinder bawah maupun atas berturut-turut sebesar 62,8% dan 82,9%. Namun untuk rentang Re yang tervalidasi dengan baik, peningkatan $\overline{C_D}$ signifikan terjadi pada $Re = 5,9 \times 10^4$ dengan 48,6 % pada silinder atas dan pada $Re = 5,3 \times 10^4$ dengan 57,5 % pada silinder bawah.



Gambar 4.6 Perbandingan hasil $\overline{C_D}$ pada masing-masing silinder pada konfigurasi *side-by-side* $T/D = 2.00$

Selanjutnya, pada Gambar 4.6 menunjukkan perbandingan $\overline{C_D}$ masing-masing silinder konfigurasi *side-by-side* pada jarak 2,00D. pada jarak ini, tren grafik $\overline{C_D}$ baik pada silinder bawah maupun atas terlihat sangat mirip, bahkan di beberapa Re memiliki nilai yang sama. $\overline{C_D}$ terbesar pada jarak 2,00D terjadi pada $Re = 5,9 \times 10^4$ untuk masing-masing silinder sebesar 1,73. Sedangkan, peningkatan $\overline{C_D}$ terbesar dibandingkan dengan $\overline{C_D}$ pada silinder *helical rods*

bergap tunggal terjadi pada $Re = 1,6 \times 10^4$. Pada silinder atas, nilai $\overline{C_D}$ meningkat 75,8% dan pada silinder bawah meningkat 77 %. Namun pada rentang Re yang tervalidasi dengan baik, $\overline{C_D}$ meningkat signifikan pada $Re = 5,9 \times 10^4$ dengan 61,8 % pada silinder atas dan pada $Re = 5,3 \times 10^4$ dengan 61,5 % pada silinder bawah.



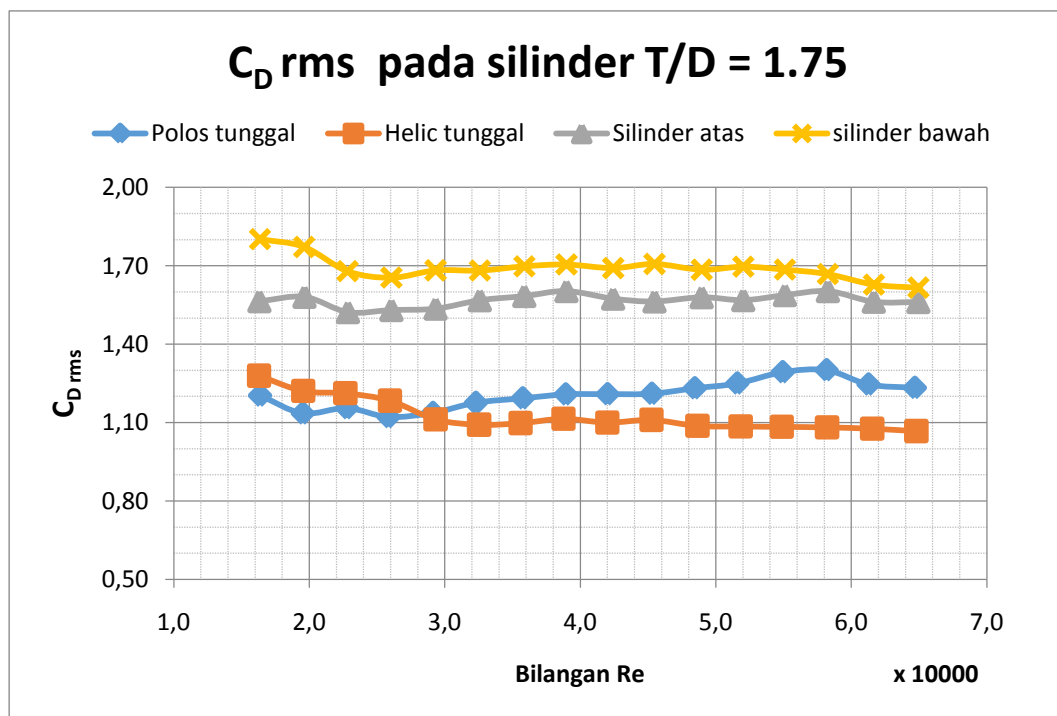
Gambar 4.7 Perbandingan hasil $\overline{C_D}$ pada masing-masing silinder pada konfigurasi *side-by-side* $T/D = 2,50$

Pada jarak $2,50D$, grafik perbandingan $\overline{C_D}$ masing-masing silinder konfigurasi *side-by-side* ditunjukkan pada Gambar 4.7. Pada jarak yang lebih lebar ini, tren grafik silinder atas dan bawah memiliki perbedaan yang cukup jelas. Pada tren grafik silinder atas, $\overline{C_D}$ cenderung stabil namun kemudian pada Re yang tinggi mengalami penurunan. Sedangkan pada silinder bawah, tren grafik $\overline{C_D}$ terus mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya Re . Nilai $\overline{C_D}$ terbesar pada silinder atas dan bawah berturut-turut terjadi pada $Re = 3,6 \times 10^4$ dengan 1,65 dan $Re = 1,6 \times 10^4$ dengan 1,718. Sedangkan untuk peningkatan $\overline{C_D}$ paling signifikan terjadi pada $Re = 1,6 \times 10^4$ untuk masing-masing silinder. Pada silinder atas, $\overline{C_D}$ meningkat 79,5% dan untuk silinder bawah meningkat sebesar 89%. Akan tetapi apabila ditinjau dari rentang Re yang tervalidasi dengan baik,

Peningkatan $\overline{C_D}$ signifikan terjadi pada $Re = 3,3 \times 10^4$ berturut-turut sebesar 54,2 % dan 46,5 % pada silinder atas dan bawah.

4.2.2 Gaya Drag Root Mean Square

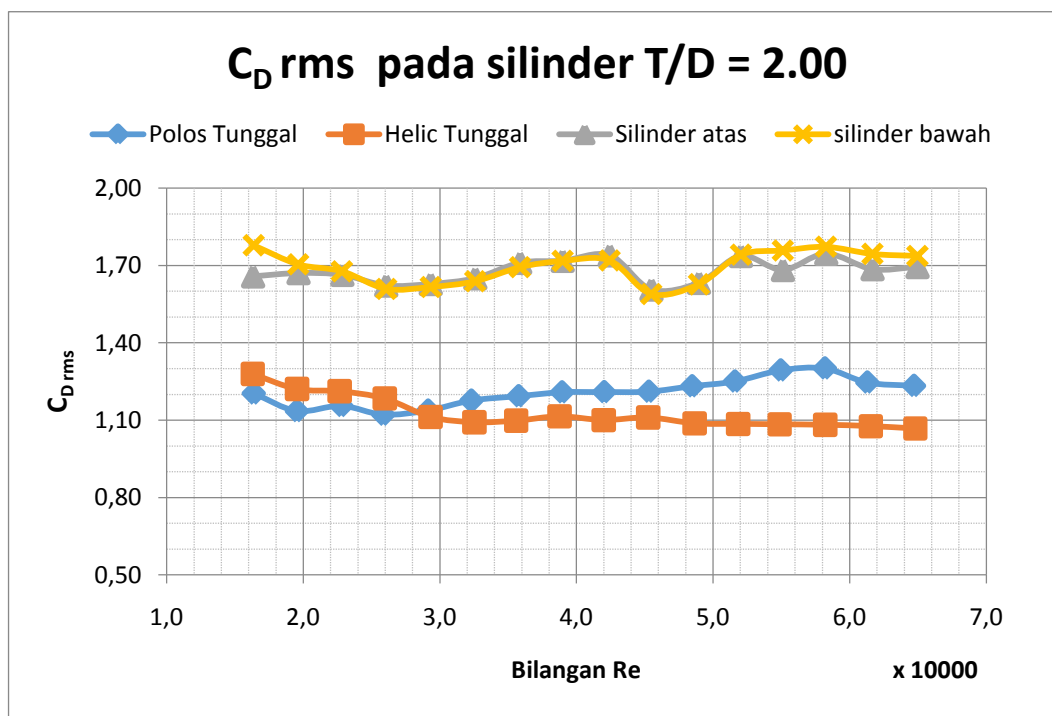
Hasil pengujian C_{Drms} disajikan pada Gambar 4.8, Gambar 4.9 dan Gambar 4.10. Secara keseluruhan, osilasi gaya drag tidak memberikan pengaruh pada komponen gaya drag ditandai dengan tren grafik C_{Drms} serupa dengan tren grafik pada $\overline{C_D}$ (koefisien drag rata-rata). Pada Gambar 4.8 merupakan plot C_{Drms} pada jarak 1,75D. Pada jarak ini, C_{Drms} pada silinder bawah memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan C_{Drms} pada silinder atas. C_{Drms} terbesar terjadi pada $Re = 3,9 \times 10^4$ dengan 1,603 untuk silinder atas dan pada $Re = 1,6 \times 10^4$ dengan 1,7 untuk silinder bawah. Sedangkan kenaikan signifikan C_{Drms} dibandingkan kasus silinder *helical rods* bergap tunggal terjadi pada $Re = 5,9 \times 10^4$ sebesar 48,14 % untuk silinder atas dan pada $Re = 5,3 \times 10^4$ sebesar 56,31 % untuk silinder bawah.



Gambar 4.8 Perbandingan hasil C_{Drms} pada masing-masing silinder pada konfigurasi *side-by-side* T/D = 1,75

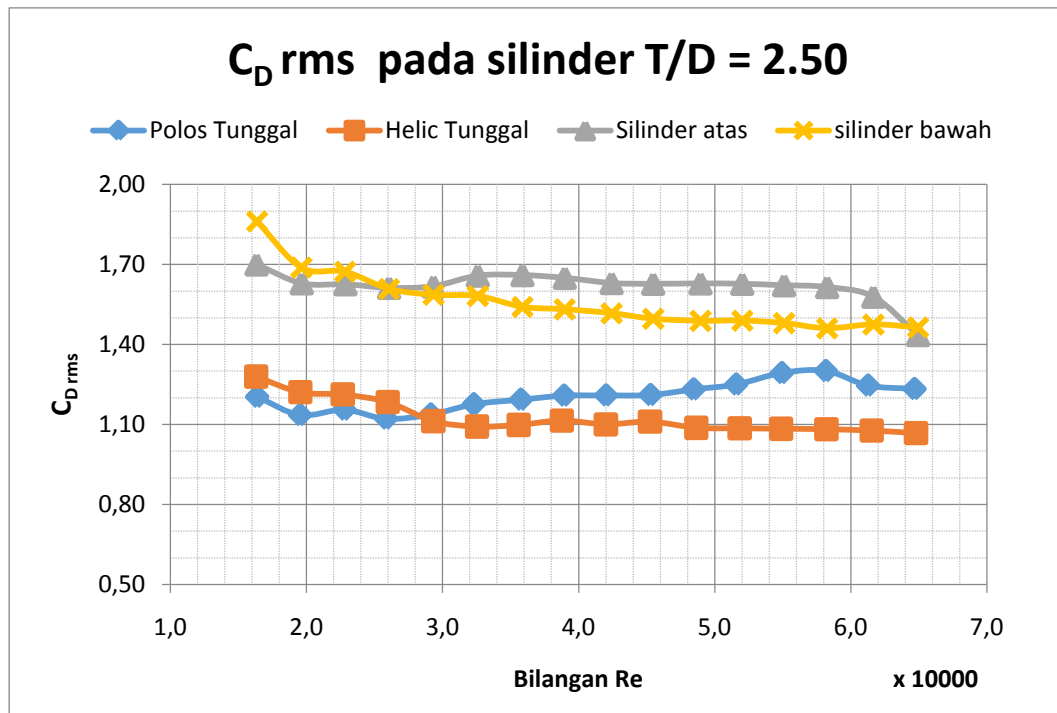
Sedangkan hasil C_{Drms} pada jarak 2,00D disajikan pada Gambar 4.9. C_{Drms} pada silinder atas dan bawah memiliki tren dan nilai yang sama pada beberapa Re.

Namun pada $Re > 5,3 \times 10^4$ C_{Drms} pada silinder atas berada sedikit diatas dibanding C_{Drms} pada silinder bawah. C_{Drms} terbesar pada silinder atas terjadi pada $Re = 5,9 \times 10^4$ dengan 1,746. Sedangkan pada silinder bawah, C_{Drms} terjadi pada $Re = 1,6 \times 10^4$ dengan 1,802. Jika dibandingkan dengan silinder *helic* tunggal, perubahan C_{Drms} signifikan terjadi pada $Re = 5,9 \times 10^4$ dengan 61,37 % dan 63,83% berturut-turut untuk silinder atas dan bawah.



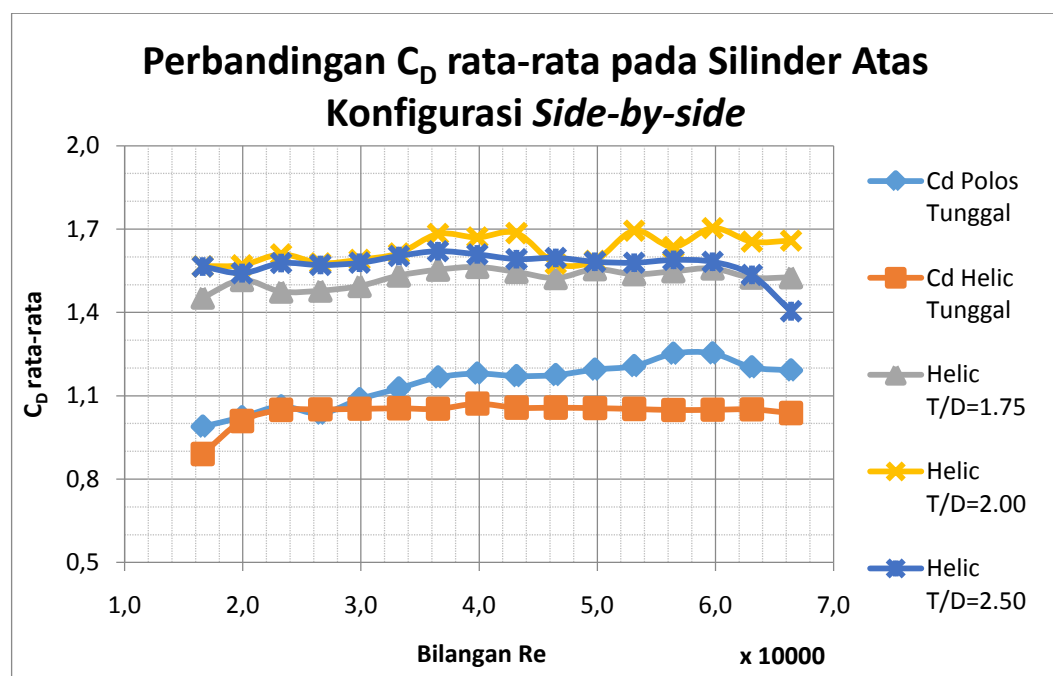
Gambar 4.9 Perbandingan hasil C_{Drms} pada masing-masing silinder pada konfigurasi *side-by-side* $T/D = 2,00$

Pada Gambar 4.10 menunjukkan C_{Drms} pada masing-masing silinder konfigurasi *side-by-side* untuk jarak $2,50D$. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa tren C_{Drms} pada kedua silinder konfigurasi *side-by-side* relatif menurun seiring bertambahnya nilai Re . Pola Tren pada silinder bawah sama dengan kasus silinder *helic* tunggal. Pada jarak $2,50D$, C_{Drms} paling besar terjadi pada $Re = 1,6 \times 10^4$ dengan 1,7 untuk silinder atas dan 1,861 untuk silinder bawah. Sedangkan perubahan paling signifikan C_{Drms} terjadi pada $Re = 3,3 \times 10^4$ sebesar 51,85% pada silinder atas dan pada $Re = 1,6 \times 10^4$ sebesar 45,45% pada silinder bawah dibandingkan dengan silinder *helical rods* bergap tunggal.



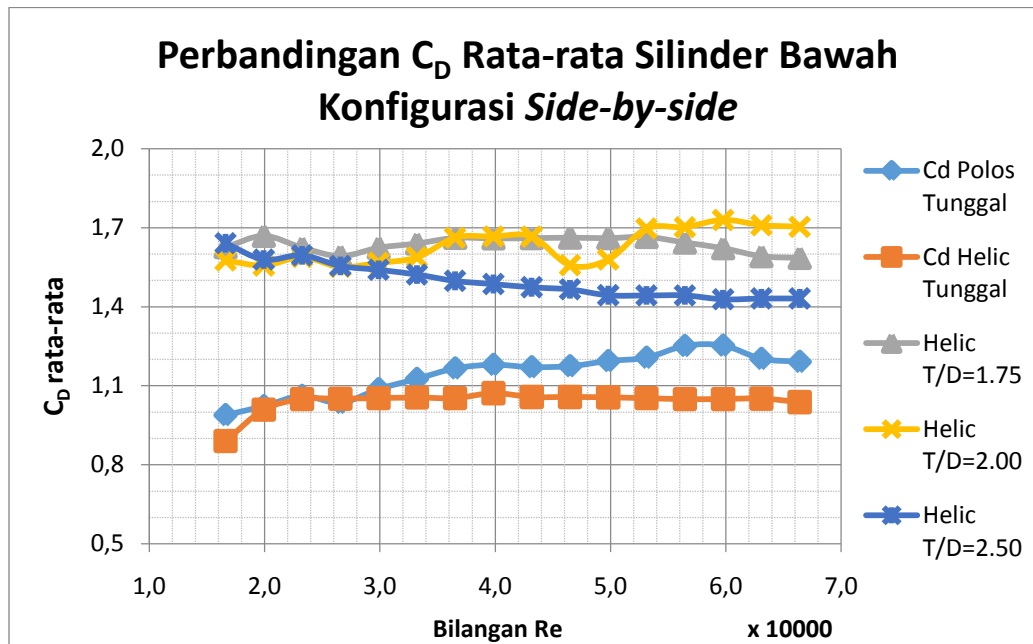
Gambar 4.10 Perbandingan hasil $C_{D rms}$ pada masing-masing silinder pada konfigurasi *side-by-side* $T/D = 2,50$

4.2.3 Tren C_D rata-rata pada Setiap Variasi Jarak



Gambar 4.11 Perbandingan $\overline{C_D}$ silinder atas konfigurasi *side-by-side* pada masing-masing variasi jarak

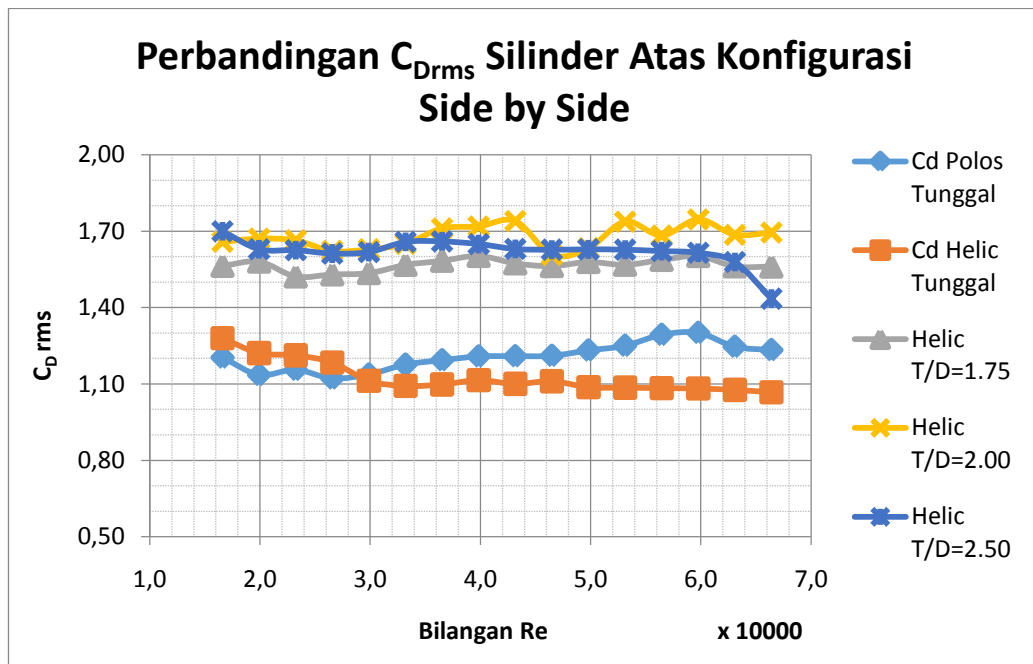
Pada Gambar 4.11 menunjukkan tren grafik $\overline{C_D}$ pada silinder atas disetiap jarak yang diujikan. Pada jarak 1,75D, nilai $\overline{C_D}$ meningkat dibandingkan pada $\overline{C_D}$ pada silinder tunggal, baik polos maupun *helical rods* bergap. Kemudian ketika jarak diperbesar, mejadi 2,00D, nilai $\overline{C_D}$ meningkat disetiap Re dibandingkan jarak 1,75D. Dan pada pengujian terakhir, pada jarak yang paling lebar, 2,50D, nilai $\overline{C_D}$ kembali mengalami penurunan dibandingkan jarak 2,00D. Meski mengalami penurunan, $\overline{C_D}$ pada jarak 2,50D masih memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan nilai $\overline{C_D}$ pada silinder tunggal dan bahkan $\overline{C_D}$ pada jarak 1,75D. Artinya pada setiap jarak yang diujikan masih terdapat pengaruh antar silinder yang menyebabkan peningkatan nilai $\overline{C_D}$.



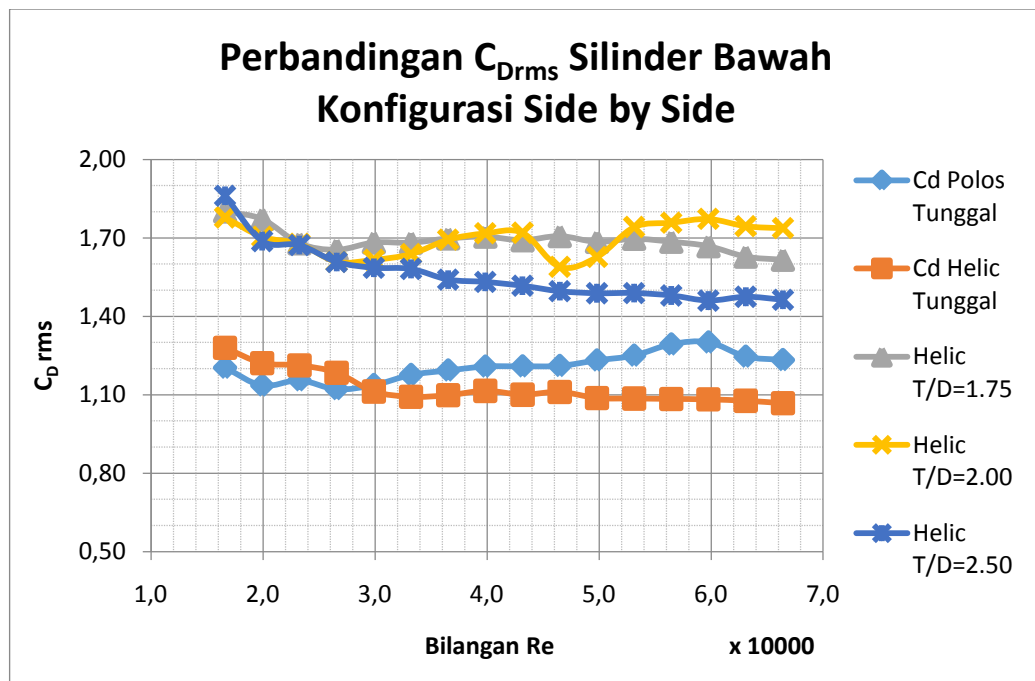
Gambar 4.12 Perbandingan $\overline{C_D}$ silinder bawah konfigurasi *side-by-side* pada masing-masing variasi jarak

Sedangkan Gambar 4.12 menunjukkan perubahan $\overline{C_D}$ pada silinder bawah konfigurasi bawah pada variasi jarak dan Re yang diujikan. Pada $Re = 2,9 \times 10^4$ hingga $Re = 4,9 \times 10^4$ $\overline{C_D}$ pada jarak 1,75D lebih besar dibandingkan $\overline{C_D}$ pada jarak lainnya dan mengindikasikan bahwa semakin besar jarak antar silinder, semakin kecil $\overline{C_D}$. Namun pada $Re > 5,3 \times 10^4$ nilai terbesar $\overline{C_D}$ terjadi pada jarak 2,00D.

4.2.4 Tren $C_{D\ rms}$ pada Setiap Variasi Jarak



Gambar 4.13 Perbandingan $C_{D\ rms}$ silinder atas konfigurasi *side-by-side* pada masing-masing variasi jarak



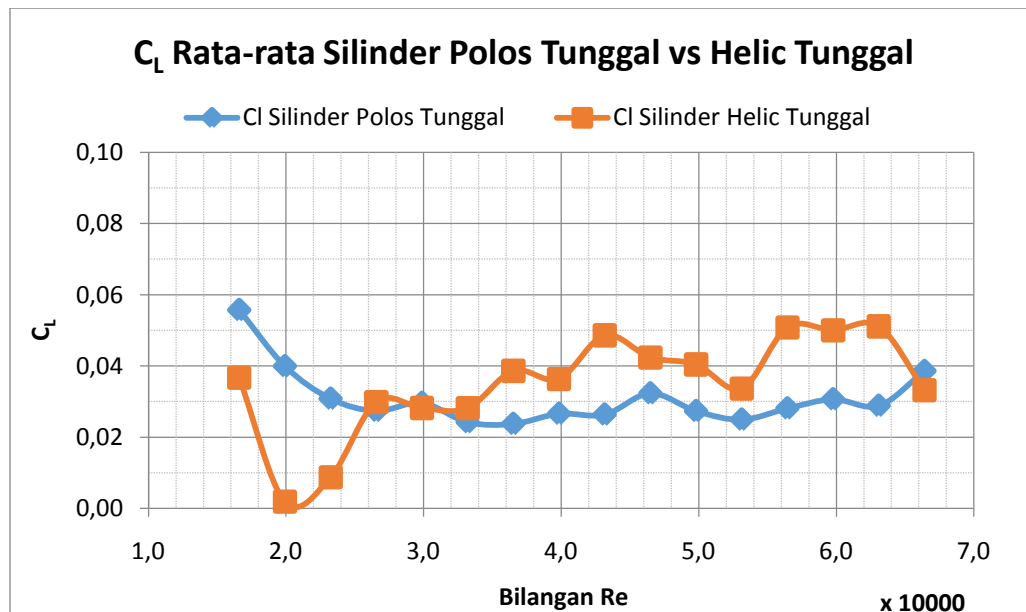
Gambar 4.14 Perbandingan $C_{D\ rms}$ silinder bawah konfigurasi *side-by-side* pada masing-masing variasi jarak

Gambar 4.13 dan Gambar 4.14 menunjukkan plot grafik C_{Drms} silinder atas dan bawah pada variasi jarak yang diujikan. Dari kedua gambar tersebut dapat dilihat bahwa C_{Drms} pada setiap jarak yang diujikan bernilai lebih besar dibandingkan C_{Drms} pada kasus silinder helix tunggal. Artinya masih terdapat interferensi yang kuat antar silinder pada variasi jarak yang diujikan. Dari kedua silinder tersebut, jarak $2,00D$ memiliki C_{Drms} terbesar dibandingkan dengan jarak lainnya.

4.3 GAYA LIFT PADA SILINDER TUNGGAL

Seperti halnya pada gaya drag, komponen gaya lift terdiri atas gaya lift rata-rata dan gaya lift osilasi. Gaya lift rata-rata disajikan dalam koefisien lift rata-rata ($\overline{C_L}$) dan gaya lift osilasi dihasilkan dalam perhitungan *root mean square* dari data yang diambil pada satu pengujian dan disajikan dalam koefisien *lift root mean square* (C_{Lrms}).

4.3.1 Gaya Lift Rata-rata Silinder Tunggal

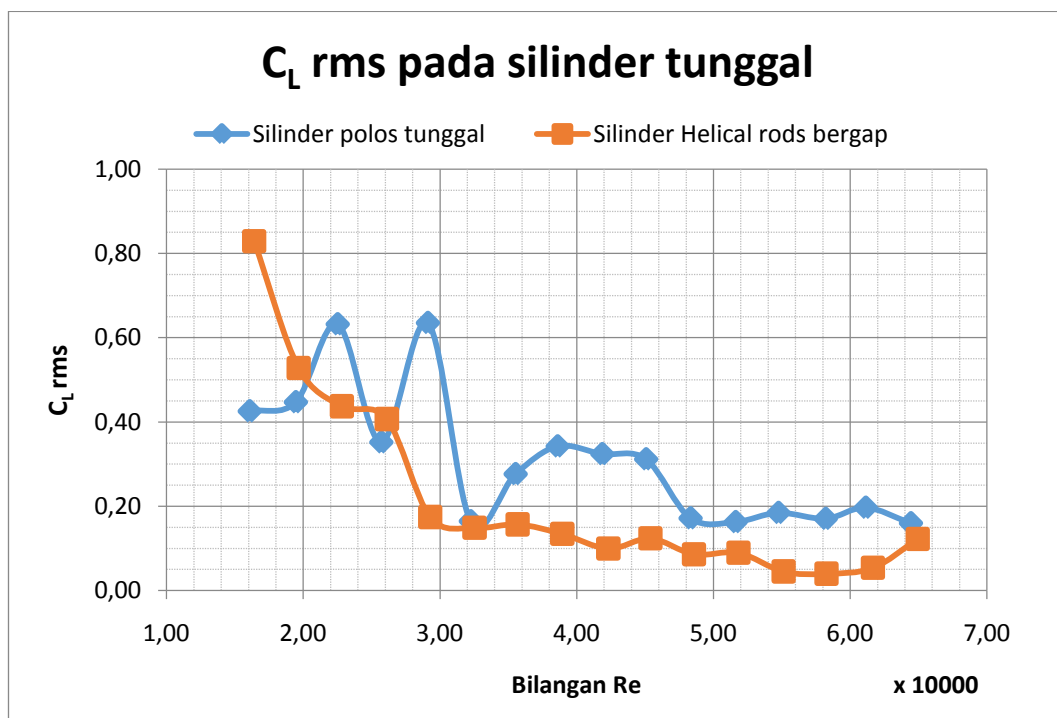


Gambar 4.15 Perbandingan C_L pada silinder polos tunggal dan silinder *helical rods* bergap

Gambar 4.15 menunjukkan plot koefisien lift rata-rata ($\overline{C_L}$) pada silinder polos tunggal berbanding dengan $\overline{C_L}$ pada silinder dengan *helical rods* bergap

tunggal. pada Re rendah ($Re = 1,6 \times 10^4 \sim 3,3 \times 10^4$), nilai $\overline{C_L}$ pada silinder *helic* lebih rendah daripada $\overline{C_L}$ pada silinder polos. Penurunan $\overline{C_L}$ terbesar pada rentang ini terjadi pada $Re = 2,0 \times 10^4$ dengan penurunan sebesar 0,038 atau 95 %. Namun sebaliknya pada Re yang lebih tinggi ($Re = 3,6 \times 10^4 \sim 6,3 \times 10^4$) nilai $\overline{C_L}$ pada silinder *helic* lebih tinggi daripada $\overline{C_L}$ pada silinder polos. Pada Rentang ini, kenaikan C_L paling signifikan terjadi pada $Re = 4,3 \times 10^4$ dengan kenaikan 84,53 %.

4.3.2 Gaya Lift Root Mean Square Silinder Tunggal



Gambar 4.16 Perbandingan C_{Lrms} pada silinder polos tunggal dan silinder *helical rods* bergap tunggal

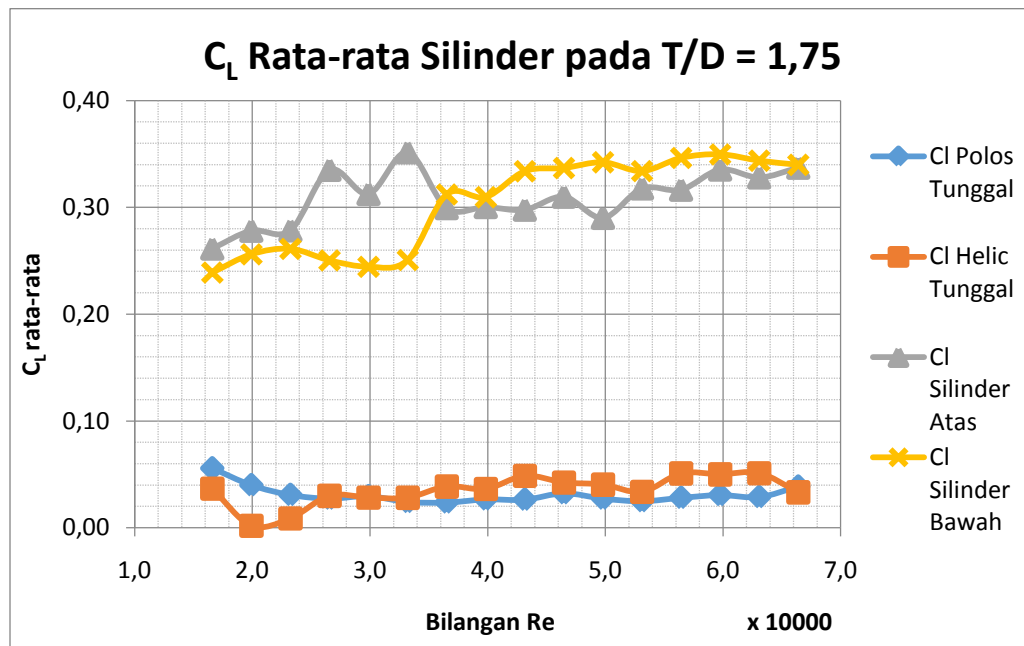
Gambar 4.16 merupakan plot C_{Lrms} pada silinder tunggal baik polos maupun tunggal untuk Re yang diujikan. C_{Lrms} merupakan komponen osilasi dari gaya lift. Pada gambar terlihat bahwa C_{Lrms} pada silinder helical rods bergap secara umum lebih rendah dibandingkan C_{Lrms} pada silinder polos, terkecuali pada $Re < 1,9 \times 10^4$. Kedua C_{Lrms} pada masing-masing silinder semakin berkurang seiring bertambahnya Re. C_{Lrms} terbesar terjadi pada $Re = 1,6 \times 10^4$ dengan 0,863 pada

kasus silinder *helical rods* bergap. Reduksi terbesar C_{Lrms} pada silinder helix terhadap silinder polos terjadi pada $Re = 4,3 \times 10^4$ sebesar 57,4 %.

4.4 GAYA LIFT PADA SILINDER JAMAK *SIDE-BY-SIDE*

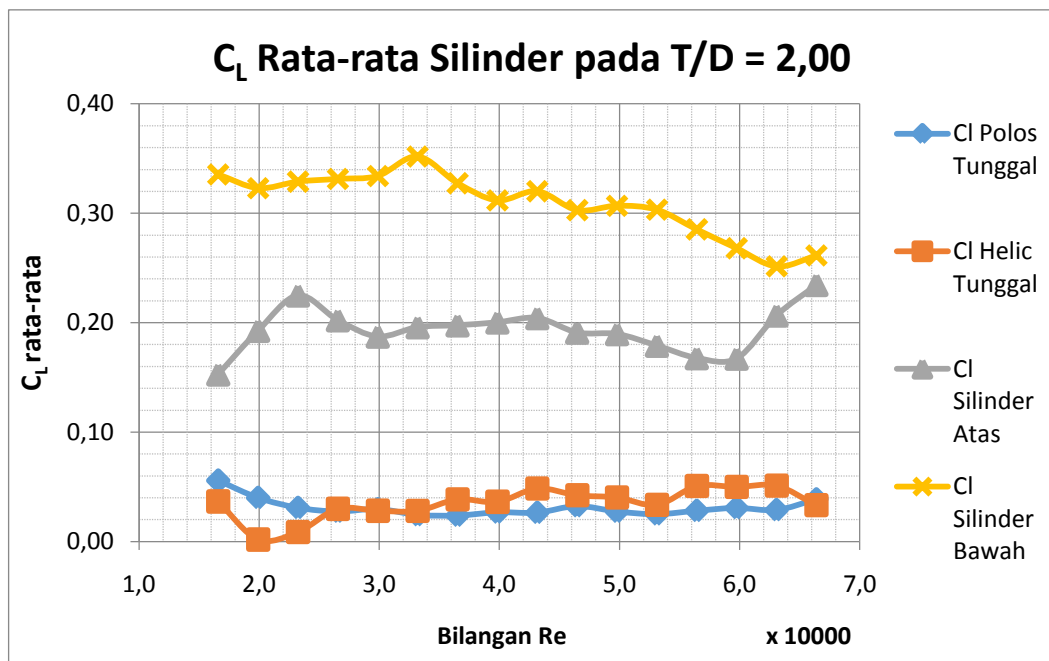
4.4.1 Gaya Lift Rata-rata

Pada Gambar 4.17, dimana nilai $\overline{C_L}$ pada masing-masing silinder pada jarak 1,75D, terdapat perbedaan tren dari silinder atas dan silinder bawah. Pada Re rendah ($Re = 1,6 \times 10^4 \sim 3,3 \times 10^4$), nilai $\overline{C_L}$ pada silinder atas lebih besar dibandingkan nilai $\overline{C_L}$ pada silinder bawah. Namun pada Re yang lebih tinggi ($Re > 3,6 \times 10^4$), nilai $\overline{C_L}$ pada silinder atas lebih kecil dibandingkan nilai $\overline{C_L}$ pada silinder bawah. Terlepas dari itu, pada jarak 1,75D memberikan peningkatan $\overline{C_L}$ baik pada silinder atas dan bawah. Nilai $\overline{C_L}$ terbesar pada silinder atas terjadi pada $Re = 3,3 \times 10^4$ dengan 0,346. Sedangkan pada silinder bawah, nilai $\overline{C_L}$ terbesar terjadi pada $Re = 5,9 \times 10^4$ dengan 0,35. Adapun peningkatan $\overline{C_L}$ paling signifikan terhadap $\overline{C_L}$ silinder tunggal terjadi pada $Re = 3,3 \times 10^4$ dengan perubahan sebesar 0,323 untuk silinder atas. Sedangkan peningkatan $\overline{C_L}$ signifikan pada silinder bawah terjadi pada $Re = 6,6 \times 10^4$ dengan perubahan sebesar 0,307.



Gambar 4.17 Perbandingan $\overline{C_L}$ pada masing-masing silinder pada konfigurasi side-by-side $T/D=1,75$

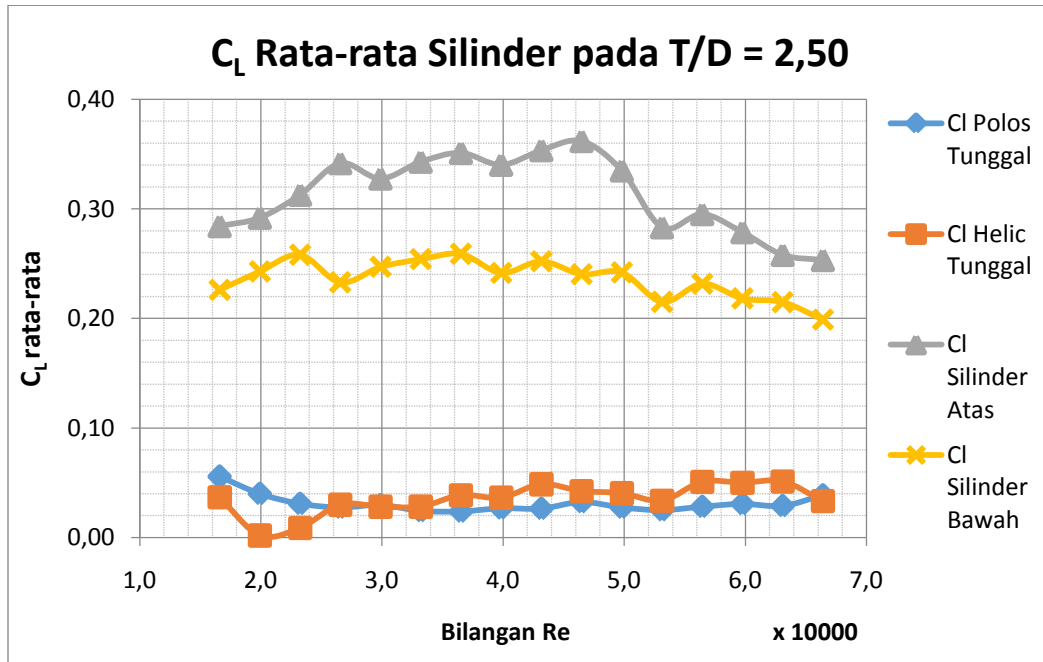
Selanjutnya, pada Gambar 4.18 menunjukkan perbandingan $\overline{C_L}$ pada masing-masing silinder konfigurasi *side-by-side* pada jarak 2,00D. pada jarak ini, seperti halnya pada jarak 1,75D, nilai $\overline{C_L}$ pada kedua silinder memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan nilai $\overline{C_L}$ pada silinder tunggal. Namun terdapat perbedaan nilai $\overline{C_L}$ yang cukup besar antara silinder atas dan bawah. Nilai $\overline{C_L}$ terbesar pada silinder atas terjadi pada $Re = 6,6 \times 10^4$ sebesar 0,235. Sedangkan pada silinder bawah $\overline{C_L}$ terbesar terjadi pada $Re = 3,3 \times 10^4$ sebesar 0,352. Sementara untuk perubahan $\overline{C_L}$ paling signifikan terjadi pada $Re = 2,3 \times 10^4$ sebesar 0,216 untuk silinder atas dan terjadi pada $Re = 3,3 \times 10^4$ sebesar 0,324 untuk silinder bawah.



Gambar 4.18 Perbandingan $\overline{C_L}$ pada masing-masing silinder pada konfigurasi *side-by-side* T/D=2,00

Pada Gambar 4.19 menunjukkan perbandingan $\overline{C_L}$ pada masing-masing silinder untuk jarak 2,50D. Pada jarak ini masih memberikan pengaruh antar silinder yang menyebabkan nilai $\overline{C_L}$ masih jauh diatas nilai $\overline{C_L}$ pada silinder *helical rods* bergap tunggal. Yang menarik adalah nilai $\overline{C_L}$ pada silinder atas pada jarak ini lebih besar dibandingkan $\overline{C_L}$ pada silinder bawah, berkebalikan dengan yang terjadi pada jarak 2,00D. Pada silinder atas, $\overline{C_L}$ terbesar terjadi pada $Re = 4,6 \times 10^4$ dengan 0,362 sedangkan pada silinder bawah terjadi pada $Re = 3,6 \times 10^4$

dengan 0,254. Sedangkan perubahan $\overline{C_L}$ signifikan silinder atas dan bawah berturut-turut terjadi pada $Re = 4,6 \times 10^4$ sebesar 0,320 dan $Re = 2,3 \times 10^4$ sebesar 0,249.

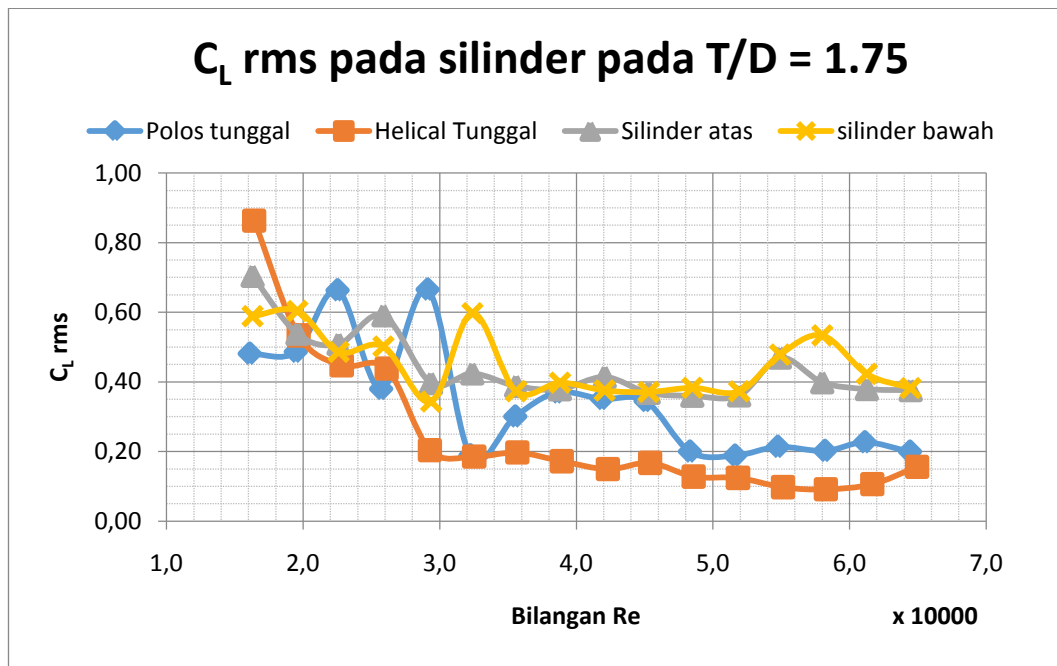


Gambar 4.19 Perbandingan $\overline{C_L}$ pada masing-masing silinder pada konfigurasi *side-by-side* T/D=2,50

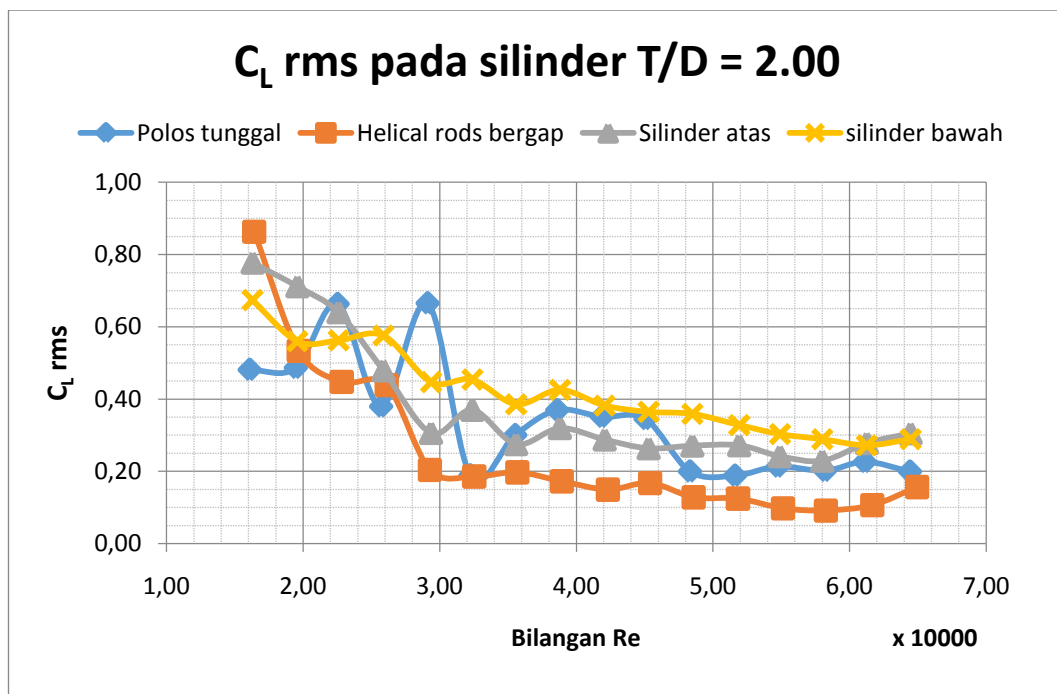
4.4.2 Gaya Lift Root Mean Square

Gambar 4.20 menunjukkan perbandingan C_{Lrms} masing-masing silinder konfigurasi *side-by-side* pada jarak 1,75D. Pada rentang $Re = 1,6 \times 10^4 \sim 3,6 \times 10^4$, C_{Lrms} pada kedua silinder, atas maupun bawah menurun secara fluktuatif pada nilai 0,4. Setelahnya pada $Re > 3,6 \times 10^4$, C_{Lrms} pada silinder atas dan bawah konsisten berada disekitar 0,4 meski pada $Re = 5,6 \times 10^4 \sim 5,9 \times 10^4$ mengalami sedikit kenaikan. C_{Lrms} terbesar terjadi pada $Re = 1,6 \times 10^4$ dengan 0,704 dan 0,674 berturut-turut pada silinder atas dan bawah. Jika dibandingkan dengan C_{Lrms} silinder helic tunggal, C_{Lrms} pada jarak 2,00D relatif lebih tinggi. Mulai dari $Re = 2,9 \times 10^4$ selisih antara C_{Lrms} silinder tunggal dan silinder helic jarak 2,00D rata-rata berkisar 0,2. Selisih terbesar C_{Lrms} terjadi pada $Re = 5,9 \times 10^4$ sebesar 0,307

dan 0,442 pada silinder atas dan bawah dibandingkan pada C_{Lrms} pada silinder helical rods bergap tunggal.

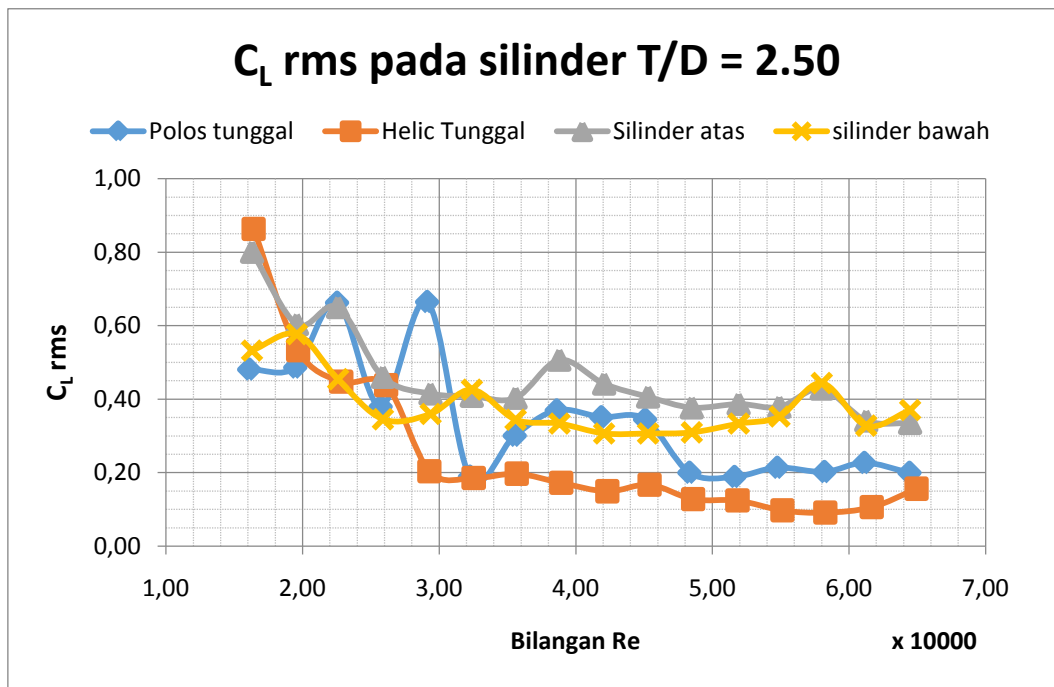


Gambar 4.20 Perbandingan C_{Lrms} pada masing-masing silinder pada konfigurasi *side-by-side* $T/D=1,75D$



Gambar 4.21 Perbandingan C_{Lrms} pada masing-masing silinder pada konfigurasi *side-by-side* $T/D=2,00D$

Selanjutnya, Gambar 4.21 menunjukkan C_{Lrms} pada jarak 2,00D. Pada jarak ini, C_{Lrms} pada silinder atas dan bawah memiliki perbedaan baik nilai maupun tren. Pada silinder atas, C_{Lrms} menurun cukup drastis pada hingga $Re = 3,6 \times 10^4$, kemudian setelahnya relatif stabil pada kisaran 0,26. Sedangkan pada silinder bawah, C_{Lrms} konsisten menurun seiring bertambahnya Re . C_{Lrms} terbesar terjadi pada $Re = 1,6 \times 10^4$ dengan 0,778 pada silinder atas dan 0,674 pada silinder bawah. Peningkatan C_{Lrms} paling signifikan dibanding pada kasus silinder helic tunggal terjadi pada $Re = 3,3 \times 10^4$ pada silinder atas dan $Re = 5,9 \times 10^4$ pada silinder bawah. Besar peningkatannya berturut-turut 0,184 dan 0,442.



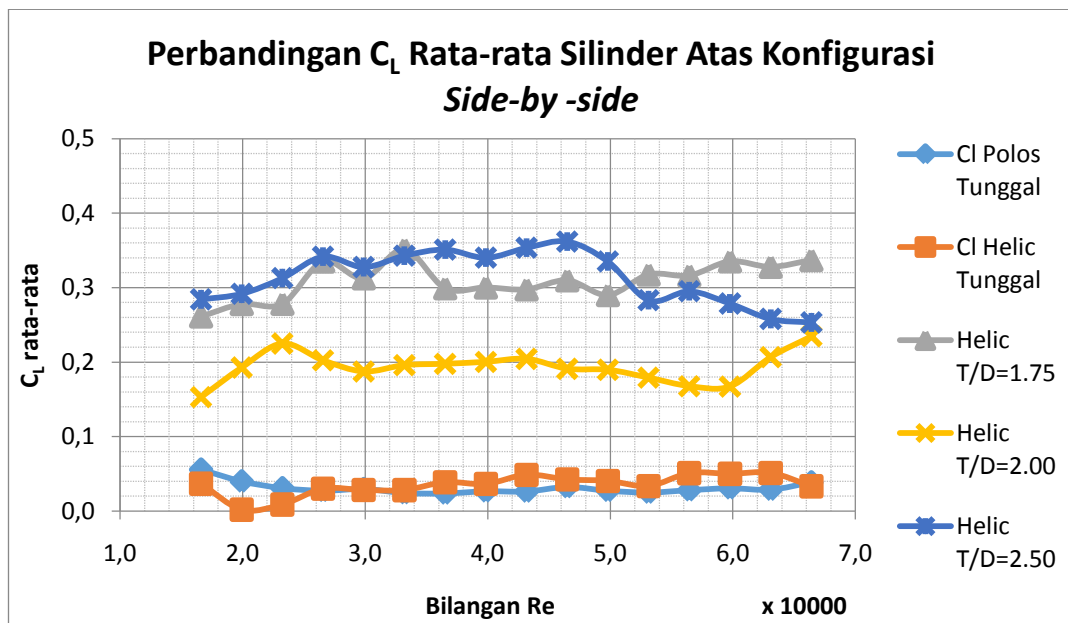
Gambar 4.22 Perbandingan C_{Lrms} pada masing-masing silinder pada konfigurasi *side-by-side* T/D=2,50D

Gambar 4.22 menunjukkan C_{Lrms} masing-masing silinder pada jarak 2,50D. Tidak berbeda dengan hasil pengujian sebelumnya, tren silinder konfigurasi *side-by-side* pada jarak 2,50 mengalami penurunan yang cukup tajam pada $Re = 1,6 \times 10^4 \sim 3,2 \times 10^4$, kemudian setelahnya C_{Lrms} relatif konstan. C_{Lrms} terbesar terjadi pada $Re = 1,6 \times 10^4$ dengan 0,801 pada silinder atas. Dan pada silinder bawah C_{Lrms} terbesar terjadi pada $Re = 1,9 \times 10^4$ dengan 5,77. Sedangkan perubahan C_{Lrms}

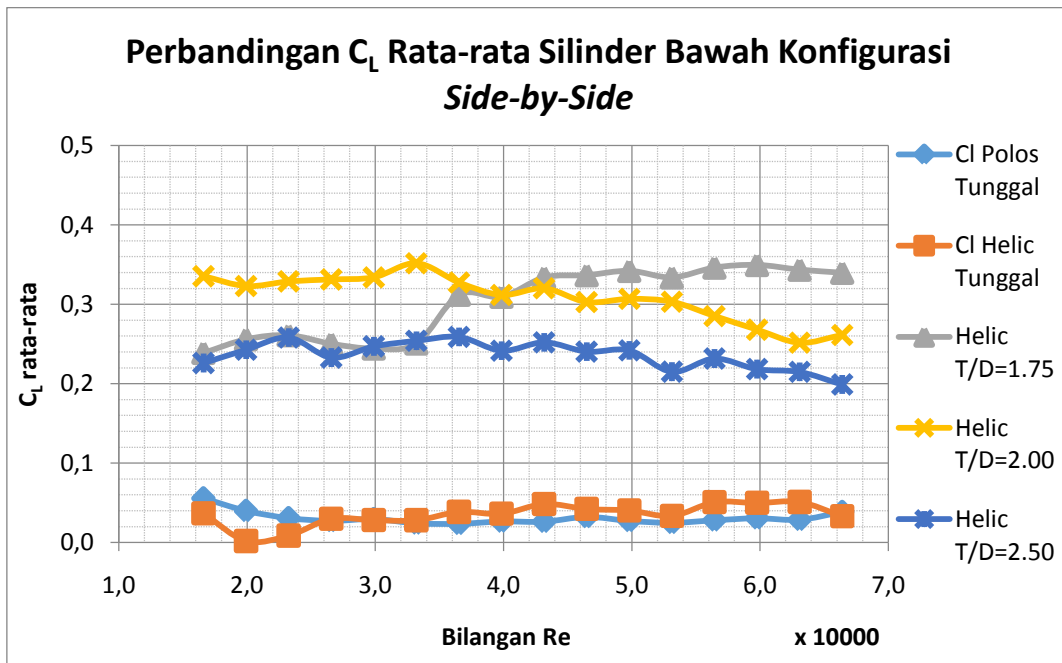
paling signifikan terjadi pada $Re = 5,9 \times 10^4$ sebesar 0,337 dan pada 0,352 untuk silinder atas dan bawah.

4.4.3 Tren C_L rata-rata pada Setiap Variasi Jarak

Pada Gambar 4.23 merupakan perbandingan tren $\overline{C_L}$ silinder atas pada masing-masing variasi jarak dan Gambar 4.24 merupakan perbandingan tren $\overline{C_L}$ silinder bawah pada masing-masing variasi jarak. Pada silinder atas, nilai $\overline{C_L}$ pada jarak 2,00D mengalami penurunan dibandingkan dengan jarak 1,75D. Namun berbeda dengan yang terjadi pada silinder bawah, pada $Re = 1,6 \times 10^4 \sim 3,6 \times 10^4$ justru nilai $\overline{C_L}$ pada jarak 2,00D lebih tinggi daripada jarak 1,75D dan kemudian nilai $\overline{C_L}$ pada jarak 2,00D lebih rendah daripada $\overline{C_L}$ pada jarak 1,75D pada Re selanjutnya. Kemudian ketika jarak diperlebar, dari jarak 2,00D ke 2,50D, pada silinder atas nilai $\overline{C_L}$ menjadi lebih tinggi pada setiap Re . Dan sebaliknya pada silinder bawah, nilai $\overline{C_L}$ menjadi lebih rendah.

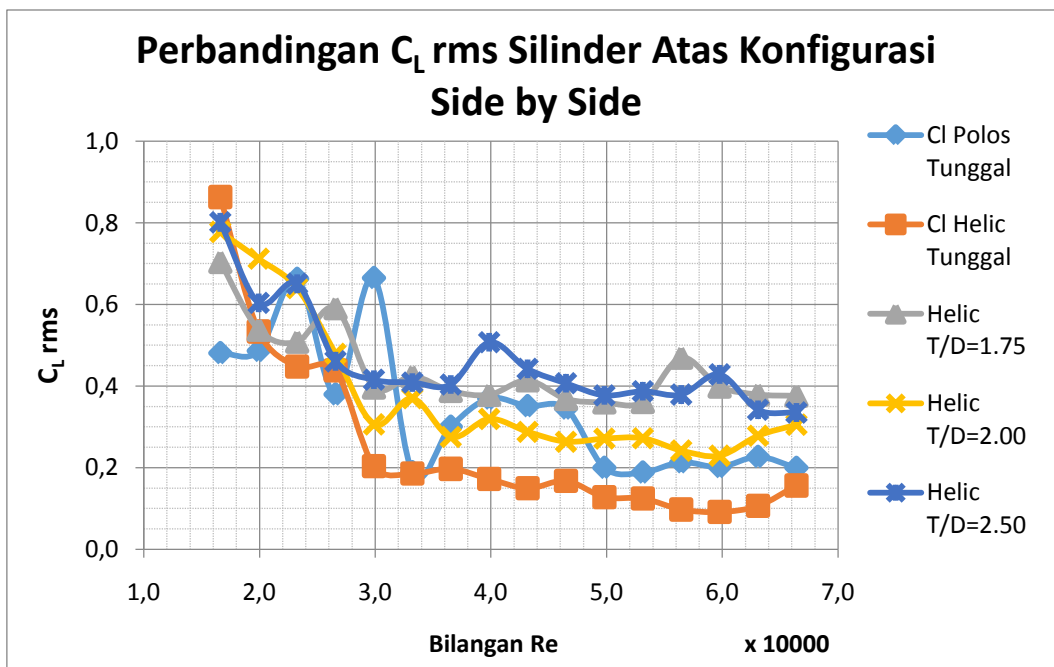


Gambar 4.23 Perbandingan $\overline{C_L}$ silinder atas konfigurasi *side-by-side* pada masing-masing variasi jarak



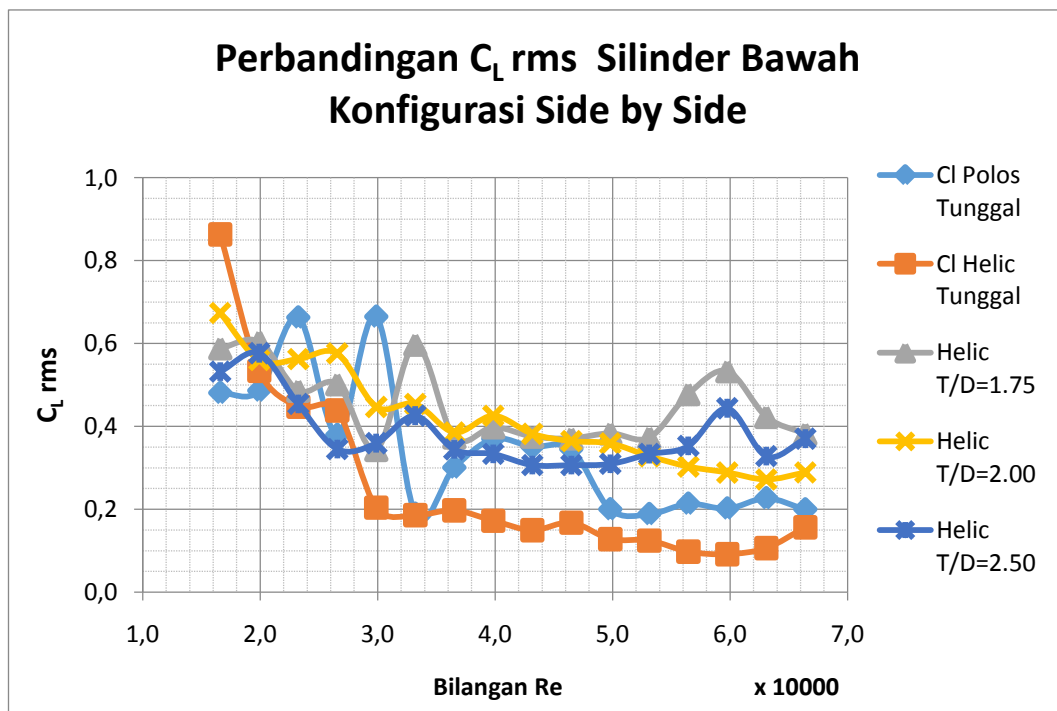
Gambar 4.24 Perbandingan $\overline{C_L}$ silinder bawah konfigurasi *side-by-side* pada masing-masing variasi jarak

4.4.4 Tren C_L rms pada Setiap Variasi Jarak



Gambar 4.25 Perbandingan C_{Lrms} silinder atas konfigurasi *side-by-side* pada masing-masing variasi jarak

Gambar 4.25 dan 4.26 menunjukkan pengaruh variasi jarak terhadap C_{Lrms} pada Re yang diujikan. Pada rentang $Re = 1,6 \times 10^4 \sim 3,2 \times 10^4$ C_{Lrms} pada setiap jarak menurun secara fluktuatif dan cukup tajam. Kemudian setelah itu, pada $Re > 3,2 \times 10^4$, C_{Lrms} relatif konstan. C_{Lrms} bernilai lebih tinggi daripada kasus silinder helic tunggal pada semua jarak yang diujikan. Jarak 2,00D memiliki interferensi yang lebih lemah dibandingkan dengan dua jarak yang lainnya. Hal ini ditandai dengan grafik C_{Lrms} jarak 2,00D lebih rendah dibandingkan yang lain.



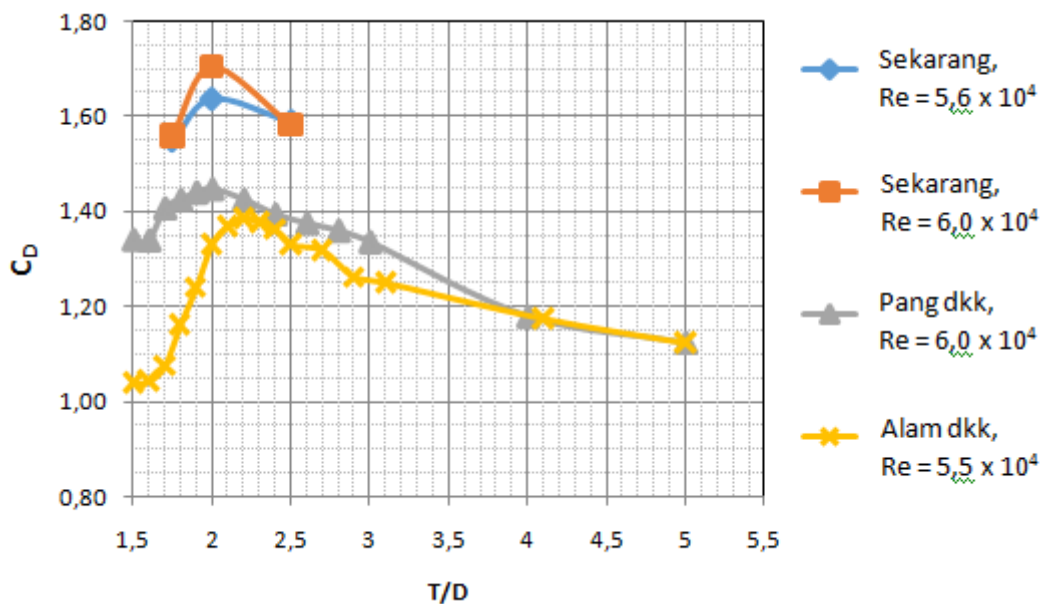
Gambar 4.26 Perbandingan C_{Lrms} silinder bawah konfigurasi *side-by-side* pada masing-masing variasi jarak

4.5 PERBANDINGAN HASIL DENGAN PENELITIAN SEBELUMNYA

Untuk memperkuat hasil penelitian yang telah dilakukan, maka hasil penelitian sekarang dibandingkan dengan beberapa penelitian yang telah ada yaitu hasil penelitian dari Alam dkk (2003) dan Pang dkk (2016). Kedua penelitian ini menguji 2 silinder polos konfigurasi *side-by-side* dengan variasi $T/D = 1 \sim 7$ pada $Re = 5.5 \times 10^4$ dan $Re = 6.0 \times 10^4$. Karena beberapa persamaan seperti konfigurasi pengujian dan rentang Re , maka kedua penelitian diatas digunakan sebagai pembanding.

4.5.1 Perbandingan Hasil Koefisien Drag (C_D)

Dari Gambar 4.27 dapat dilihat pada dua penelitian sebelumnya bahwa nilai C_D dari jarak $1,5D$ ke $2D$ - $2,2D$ mengalami kenaikan, kemudian setelahnya, pada rasio jarak diperbesar nilai C_D menjadi turun. Artinya, pada rentang $2D$ - $2,2D$ adalah puncak nilai C_D . Hal ini juga terjadi pada nilai C_D yang diujikan pada silinder helical rods sekarang, dimana nilai C_D terbesar terjadi pada jarak $2,0D$ dan setelahnya, seiring rasio jarak diperbesar nilai C_D pun berkurang. Jadi dapat disimpulkan bahwa hasil penelitian ini memiliki hasil yang serupa dengan hasil Alam dkk (2003) dan Pang dkk (2016).

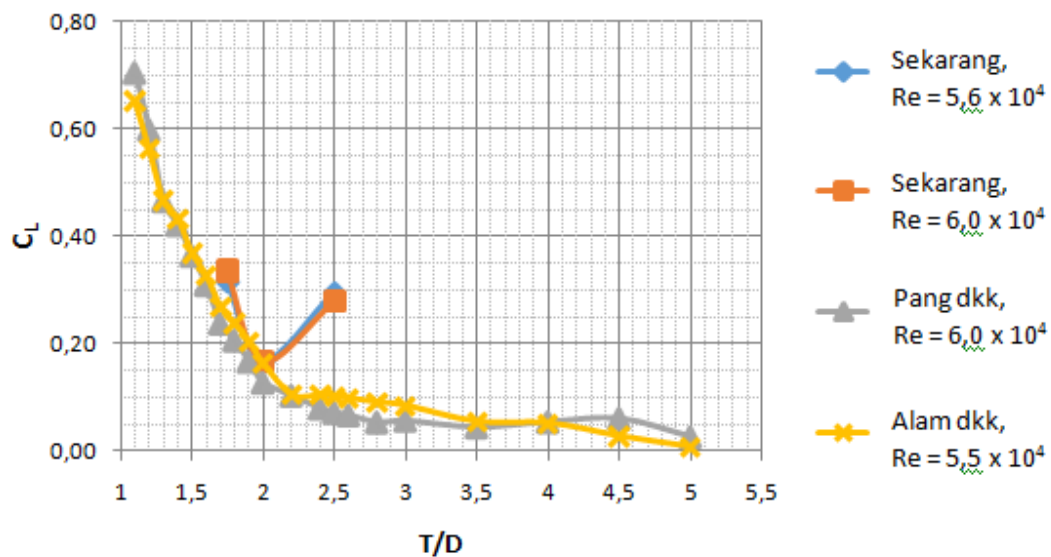


Gambar 4.27 Perbandingan Hasil C_D silinder *helical rods* bergap penelitan sekarang dengan C_D silinder polos penelitian yang sudah ada pada setiap variasi jarak di konfigurasi *side-by-side*

Namun yang perlu diperhatikan adalah nilai C_D pada silinder helical rods bergap lebih besar dibandingkan C_D pada silinder polos pada setiap variasi jarak. Hal ini dimungkinkan karena adanya rods pada silinder yang merusak vortex di sekitar silinder dan memperpendek jarak kedua silinder sehingga memberikan interferensi yang lebih besar.

4.5.2 Perbandingan Hasil Koefien Lift (C_L)

Pada Gambar 4.28 hasil dari Alam dkk (2003) dan Pang dkk (2016) menunjukkan bahwa nilai C_L semakin turun seiring dengan meningkatnya rasio jarak (1 ~ 5). Namun pada hasil penelitian sekarang, dapat dilihat bahwa nilai C_L meski dari jarak 1,75D ke 2,0D mengalami penurunan, pada jarak 2,0D ke 2,5D nilai C_L meningkat. Sehingga terdapat perbedaan tren antara penelitian yang telah dilakukan dengan penelitian sebelumnya.



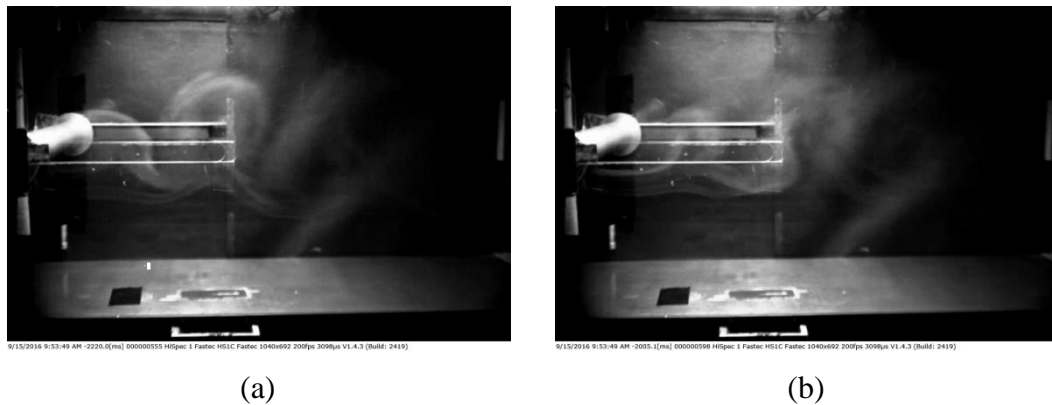
Gambar 4.28 Perbandingan Hasil C_L silinder *helical rods* bergap penelitian sekarang dengan C_L silinder polos penelitian yang sudah ada pada setiap variasi jarak di konfigurasi *side-by-side*

4.6 VISUALISASI ALIRAN DI BELAKANG SILINDER

Visualisasi aliran bertujuan untuk mengetahui pola aliran yang terjadi di belakang model sebagai bentuk visual dari fenomena *vortex shedding*. Metode yang dipakai adalah *particle tracer methods* (metode pelacakan partikel), dengan bantuan asap yang dikeluarkan oleh alat *smoke generator* diharapkan mampu menangkap bentuk visual aliran tersebut sebagai representasi dari gerak fluida yang terjadi. Pada tugas akhir ini ditampilkan hasil pengujian visualisasi aliran untuk kecepatan 5 m/s saja. Hal ini dikarenakan pada kecepatan yang lebih tinggi asap menjadi sangat tipis sehingga tidak dapat ditangkap oleh kamera.

4.6.1 Visualisasi Aliran di Belakang Silinder Tunggal

Gambar 4.29 menunjukkan pola aliran vortex dibelakang silinder polos tunggal pada kecepatan 5 m/s. sedangkan Gambar 4.30 menunjukkan pola aliran vortex pada silinder *helical rods* bergap tunggal pada kecepatan 5 m/s. Dari kedua pengujian tersebut, dapat dilihat bahwa vortex dibelakang silinder *helical rods* bergap tunggal memiliki jarak yang lebih jauh untuk melepaskan diri dibandingkan dengan vortex yang terlepas dari silinder polos tunggal. Hal ini menjadi salah satu penyebab bahwa gaya osilasi yang terjadi pada silinder *helical rods* lebih rendah dibandingkan pada kasus silinder *helical rods* bergap seperti yang telah dibahas pada subbab sebelumnya.



Gambar 4.29 (a) dan (b). *Vortex shedding* dibelakang silinder polos tunggal pada $V = 5 \text{ m/s}$ ($Re = 1,6 \times 10^4$)



Gambar 4.30 (a) dan (b) *Vortex Shedding* dibelakang silinder *helical rods* bergap tunggal pada $V = 5 \text{ m/s}$ ($Re = 1,6 \times 10^4$)

Selain itu, aliran fluida yang melewati silinder dengan helical rods bergap terlihat lebih tipis dibandingkan dengan aliran fluida yang melewati silinder polos. Hal ini dikarenakan rods yang mengelilingi silinder memecah aliran sehingga alirannya menjadi terdispersi dan pada akhirnya membentuk vortex yang lebih jauh dibelakang.

4.6.2 Visualisasi Aliran di Belakang Silinder Jamak Side-by-side

Dari Gambar 4.31 dapat dilihat bahwa pelepasan vortex yang terjadi dibelakang silinder tidak terlihat jelas atau dapat dikatakan terjadi ketidakaturan vortex. Ketidakaturan vortex ini disebabkan oleh silinder yang terletak berdekatan sehingga menimbulkan interaksi antar silinder. Ditambah dengan adanya rods pada kedua silinder yang memecah aliran yang melewati silinder. Karena kuatnya interaksi inilah yang menyebabkan koefisien rata-rata gaya fluida meningkat dibandingkan dengan koefisien fluida pada silinder tunggal. Selain itu, karena vortex tidak terbentuk menyebabkan sangat kecilnya pengaruh osilasi vortex terhadap perubahan gaya drag dan lift yang terjadi pada silinder.

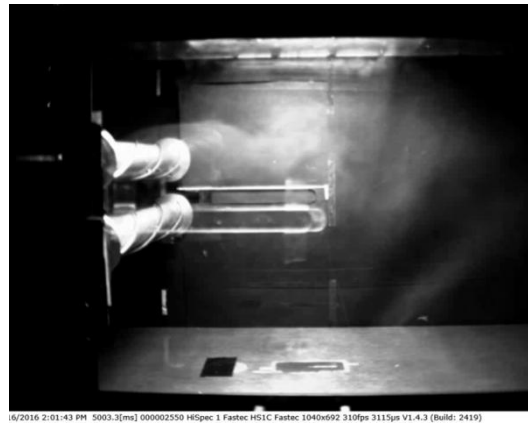
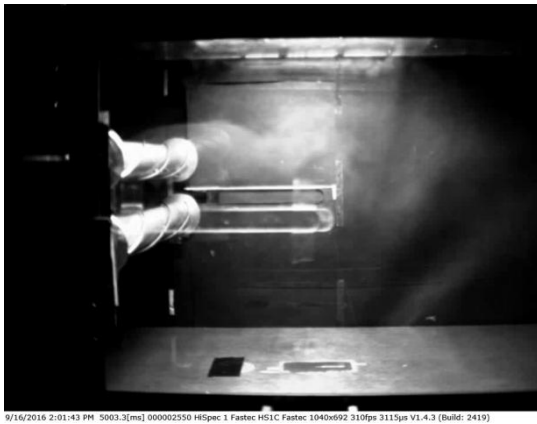
Namun apabila dicermati lebih dalam, pada kedua sisi luar aliran, terdapat beberapa ulakan yang terjadi bersamaan. Sedangkan pada daerah diantara kedua silinder, hanya terlihat satu garis aliran yang melewati silinder tersebut dan kemudian pola garis tersebut tidak terlihat lagi setelah dibelakang silinder. Hal ini dikarenakan, jarak kedua silinder yang masih sangat dekat sehingga vortex pada kedua sisi dalam silinder saling mengganggu.

Pada Gambar 4.32 menunjukkan visualisasi aliran *vortex shedding* dibelakang silinder pada jarak $2,00D$. Pada jarak ini, pada kedua sisi luar silinder, terlihat vortex yang terlepas. Namun karena asap yang melewati kedua silinder tidak bersamaan, sehingga tidak terlihat apakah vortex tersebut terlihat lepas bersamaan atau tidak. Kemudian pada sisi dalam silinder, terdapat dua garis aliran. Artinya pada kedua sisi dalam masing-masing silinder sudah terbentuk vortex, namun beberapa vortex yang terlepas terlihat saling menabrak satu sama lain. Hal ini dikarenakan pada jarak $2,00D$ masih termasuk dalam *asymmetric regime* dimana terjadi pembiasan pola aliran dibelakang silinder seperti yang dijelaskan dalam Alam dkk (2003). Seperti halnya pada jarak $1,75D$, vortex yang terjadi di belakang silinder terbentuk tidak teratur menyebabkan osilasi vortex

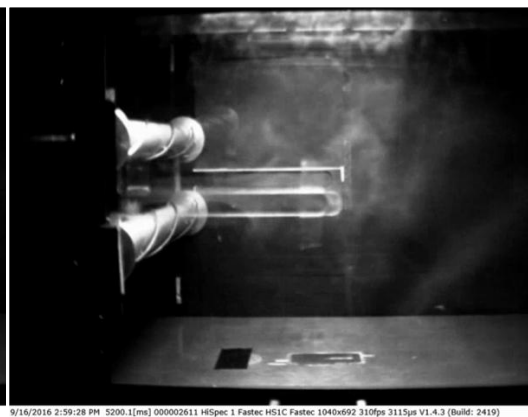
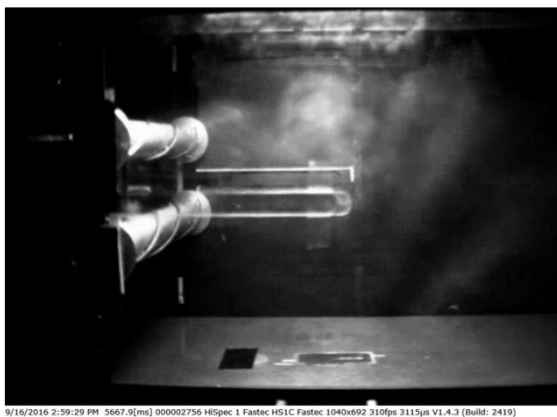
shedding tidak memberikan pengaruh yang berarti pada perubahan gaya drag dan gaya lift yang terjadi pada silinder jarak $2,00D$.



Gambar 4.31 Visualisasi *vortex shedding* dibelakang silinder konfigurasi *side-by-side* untuk jarak $1,75D$



Gambar 4.32 Visualisasi *vortex shedding* dibelakang silinder konfigurasi *side-by-side* untuk jarak $2,00D$



Gambar 4.33 Visualisasi *vortex shedding* dibelakang silinder konfigurasi *side-by-side* untuk jarak $2,50D$

Pada Gambar 4.33 merupakan visualisasi *vortex shedding* untuk jarak 2,50D. pada gambar pertama terlihat vortex pada sisi luar silinder terbentuk dan terlepas secara kontinu. Sedangkan pada gambar kedua menunjukkan aliran pada saat aliran melewati sisi dalam silinder. Dari gambar tersebut, separasi aliran antar silinder terlihat lebih lebar, dan vortex pada sisi dalam terlihat terbentuk sempurna. Artinya pada jarak 2,50D, vortex terbentuk sempurna baik pada kedua sisi masing-masing silinder. Meskipun demikian, ternyata tetap terjadi interferensi antar silinder karena nilai koefisien drag dan lift pada jarak ini lebih besar dibandingkan pada kasus silinder tunggal.

Hal lain yang perlu dicatat pada pengukuran visualisasi aliran ini adalah baik pada jarak 1,75D, 2,00D dan 2,50D pola aliran dibelakang silinder ini memiliki mode anti-phase dimana pola pelepasan vortex pada suatu silinder terlihat tercembin dengan pola pelepasan vortex silinder lainnya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian pada dua silinder dengan *helical rods* bergap pada konfigurasi *side-by-side* dengan variasi jarak antar silinder dan kecepatan alir fluida yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan.

1. Koefisien drag rata-rata ($\overline{C_D}$) pada setiap variasi jarak dan kecepatan yang diujikan di konfigurasi *side-by-side* lebih tinggi dibandingkan $\overline{C_D}$ pada silinder *helical rods* bergap tunggal. Jarak 2,00D memberikan pengaruh terbesar pada peningkatan $\overline{C_D}$. Kemudian ketika jarak diperbesar menjadi 2,50D pengaruh tersebut berkurang ditandai dengan menurunnya $\overline{C_D}$. Pada rentang Re yang tervalidasi dengan baik kenaikan $\overline{C_D}$ terbesar terjadi pada jarak 1,75D pada $Re = 5,9 \times 10^4$ dengan 48,6 % pada silinder atas dan pada $Re = 5,3 \times 10^4$ dengan 57,5 % pada silinder bawah. Sedangkan pada jarak 2,00D, $\overline{C_D}$ meningkat signifikan pada $Re = 5,9 \times 10^4$ dengan 61,8 % pada silinder atas dan pada $Re = 5,3 \times 10^4$ dengan 61,5 % pada silinder bawah. Dan pada Jarak 2,50D, Peningkatan $\overline{C_D}$ signifikan terjadi pada $Re = 3,3 \times 10^4$ berturut-turut sebesar 54,2 % dan 46,5 % pada silinder atas dan bawah.
2. Koefisien lift rata-rata ($\overline{C_L}$) pada setiap variasi jarak dan Re yang diujikan lebih tinggi dibandingkan dengan $\overline{C_L}$ kasus silinder *helical rods* bergap tunggal. $\overline{C_L}$ pada jarak 2,00D lebih rendah dibandingkan 2 jarak lainnya menandai bahwa pada jarak 2,00D pengaruh antar silinder terhadap $\overline{C_L}$ berkurang. Pada jarak 1,75D, perubahan $\overline{C_L}$ paling signifikan terjadi pada $Re = 2,3 \times 10^4$ sebesar 0,216 untuk silinder atas dan terjadi pada $Re = 3,3 \times 10^4$ sebesar 0,324 untuk silinder bawah. Sedangkan pada jarak 2,0D, kenaikan $\overline{C_L}$ paling signifikan terjadi pada $Re = 2,3 \times 10^4$ sebesar 0,216 untuk silinder atas dan terjadi pada $Re = 3,3 \times 10^4$ sebesar 0,324 untuk silinder bawah. Dan untuk jarak 2,50D, nilai $\overline{C_L}$ berubah signifikan terjadi

berturut-turut pada $Re = 4,6 \times 10^4$ sebesar 0,320 dan $Re = 2,3 \times 10^4$ sebesar 0,249.

3. Koefisien drag *root mean square* (C_{Drms}) memiliki nilai yang hampir sama dengan koefisien drag rata-rata ($\overline{C_D}$). Artinya pengaruh osilasi tidak memberikan perubahan signifikan pada komponen gaya drag. C_{Drms} pada setiap variasi jarak dan kecepatan yang diujikan di konfigurasi *side-by-side* lebih tinggi dibandingkan C_{Drms} pada kasus silinder helical rods bergap tunggal. Jarak 2,00D memberikan pengaruh terbesar pada kenaikan C_{Drms} . Sedangkan pada koefisien lift root mean square (C_{Lrms}) di setiap jarak yang diujikan menurun secara berfluktuatif pada $Re = 1,6 \times 10^4 \sim 3,3 \times 10^4$. Kemudian pada Re selanjutnya ($Re = 3,6 \times 10^4 \sim 6,6 \times 10^4$) C_{Lrms} relatif stabil dimana C_{Lrms} pada setiap jarak konfigurasi *side-by-side* lebih tinggi dibandingkan pada kasus silinder helic tunggal. Jarak 2,00D memiliki interferensi yang lebih lemah dibandingkan dengan dua jarak yang lainnya. Hal ini ditandai dengan grafik C_{Lrms} jarak 2,00D lebih rendah dibandingkan yang lain.
4. Untuk visualisasi aliran pada konfigurasi *side-by-side*, hasil terlihat baik hanya terjadi pada $V = 5$ m/s atau $Re = 1.6 \times 10^4$. Pada jarak 1,75D dan 2,00D, *vortex* yang terjadi dibelakang silinder untuk sisi dalam tidak terlihat begitu jelas karena *vortex* yang terdispersi akibat rods dan masih terdapat pengaruh dengan *vortex* pada silinder lainnya. Pada sisi luar terlihat beberapa *vortex* yang terjadi. Sedangkan pada jarak 2,50D, terlihat *vortex* dibelakang masing-masing silinder atas dan bawah terlihat terbentuk. Sehingga dapat dikatakan bahwa pada jarak 2,50D *vortex* pada kedua sisi dalam silinder terbentuk tanpa ada gangguan satu sama lain. Pola aliran pada setiap jarak yang diujikan memiliki mode anti-phase.

5.2 SARAN

1. Sebaiknya untuk mengetahui pengaruh interferensi antar silinder, variasi jarak diperbanyak dan cukup diujikan pada satu Re .

2. Pengujian gaya fluida dapat dilakukan dengan metode lain seperti metode *pressure holes*, untuk mendapatkan hasil yang lebih baik. Begitu pula dengan pengujian visualisasi aliran.
3. Dapat dilakukan pengujian numerik terlebih dahulu sebagai hipotesis awal dan sebagai acuan untuk menentukan variasi jarak dan kecepatan yang akan digunakan pada pengujian eksperimen.
4. Pada kondisi laut sebenarnya, struktur bangunan laut berbentuk silinder berada pada rentang Re yang sangat tinggi ($Re > 10^7$). Hal ini tidak memungkinkan untuk dilakukan pengujian di laboratorium karena keterbatasan fasilitas untuk mendapatkan Re yang sesuai. Sehingga studi ini masih belum dapat diaplikasikan langsung pada kondisi sebenarnya karena perlu tahapan-tahapan lebih lanjut dengan pembahasan yang lebih dalam.
5. Pada studi selanjutnya, perlu dilakukan investigasi mengenai *blockage effect* dan *shielding effect* yang terjadi akibat interaksi antar silinder.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Alam, M. M., Moriya, M., & Sakatomo, H. (2003). Aerodynamic characteristic of two side-by-side circular cylinders and application of wavelet analysis on the switching phenomenon. *Journal of Fluid Structure* 18 (3) , 325-346.
- Al-Musthofa, Z. A. (2014). *Studi Eksperimen Kinerja Desain Helical Rods Bergap untuk Mengurangi Vortex Induced Vibration (VIV) pada Silinder*. Tugas Akhir. Surabaya: Jurusan Teknik Kelautan ITS.
- Arianti, E., Prastianto, R. W., Djatmiko, E. B. ,Handayanu, Murdjito, & Fariduzzaman. (2014). Studi Eksperimental Pengaruh penambahan Helical Rod Ber-gap pada silinder rigid tertumpu fleksibel terhadap respon geraknya. *Prosiding Seminar Nasional Pasca Sarjana XIV* (pp. 246-251). Surabaya: Fakultas Teknologi Kelautan, ITS.
- Asyikin, M. T. (2012). *CFD Simulation of Vortex Induced Vibration of a Cylindrical Structure*. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology (NTNU).
- Blevins, R. D. (2001). *Flow-Induced Vibration*. Florida: Krieger Publishing Company.
- Munson, B. R., Young, D. F., & Okiishi, T. H. (2002). *Fundamental of Fluids Mechanic 4th edition*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Pang, J. H., Zong, Z., Zou, L., & Wang, Z. (2016). Numerical simulation of flow around two side-by-side circular cylinders by IVCBC vortex method. *Journal of Ocean Engineering* (119) , 86-100.
- Schlichting, H. (1968). *Boundary Layer Theory*. New York: McGraw-Hill.
- Singh, M., Singh, N., & Yadav, S. K. (2013). Review of Design and Construction of an Open Circuit Low Speed Wind Tunnel. *Journal of Mechanical dan Mechanics Engineering* , 1-22.
- Subagyo. (2013). Fasilitas Uji Terowongan Angin Kecepatan Rendah Indonesia. *Jurnal Energi dan Manufaktur* , 63-68.
- Sugiwanto, A. (2011). *Analisa Pengaruh Penambahan Helical Strakes Ber-gap sebagai Supression Device pada Riser untuk mengurangi Gaya Fluida*

- dan Vortex Induced Vibrations (VIV)*. Surabaya: Jurusan Teknik Kelautan ITS.
- Sugiwanto, A, Prastianto, R. W., Murdjito, & Djatmiko, E. B. (2013). A Numerical study on cylinders with passive control device of helical rods with gap for reducing vortex-induced vibration. *Proceeding The Second International Conference on Sustainable Infrastructure and Built Environment*. (pp. 358–368). Bandung.
- Sumner, B. M., & Fredsoe, J. (2006). *Hydrodynamics Around Clyindrical Strucutures*. Singapura: World Scientific.
- Verma, P. L., & Govardhan, M. (2011). Flow behind bluff bodies in side-by-side arrangement. *Journal of Engineering Science and Technology* , 745-768.
- Yufian, R. (2009). *Analisis pengaruh helical strakes untuk peredaman vortex induced vibration (viv) terhadap respon dinamis deep-water riser*. Surabaya: Jurusan Teknik Kelautan ITS.
- Zdravkovich, M. M. (1985). Flow induced oscillations of two interfering circular cylinders. *Journal of sound and vibration* , 511-521.
- Zdravkovich, M. M. (1987). The effects of interference between circular cylinders in cross flow. *Journal of Fluids and Structures* , 239-261.
- Zdravkovich, M. M., & Pridden, D. L. (1977). Interference between two circular cylinders ; series unexpected discontinuities. *Journal and Industrial Aerodynamics* 2 (3) , 255-270.

LAMPIRAN A-1
PEMBUATAN MODEL UJI

PEMBUATAN MODEL UJI

Pada pengujian yang akan dilakukan, model uji terdiri dari dua jenis yaitu model silinder mulus (*bare cylinder*) dan model silinder dengan lilitan helical rods. Model silinder polos sebanyak 1 buah dan model silinder dengan lilitan helical rod sebanyak dua buah. Kondisi *rod* nya dililitkan secara helix disekeliling silinder dalam konfigurasi triple helix dengan gap tertentu terhadap silinder.

Bahan yang diperlukan dalam membuat 3 model uji tersebut adalah sebagai berikut :

- Pipa aluminium diameter 2 inch (5.08 cm) 150 cm
- Asrat besi diameter 1.2 cm 60 cm sebanyak 3 buah
- 1 gulung kawat diameter 3 mm
- Aluminium pejal diameter 8 cm
- 6 mur diameter 4 mm dan 6 mur diameter 5 mm
- Potongan akrilik 0.3 mm x 0.3 mm x 0.3 mm sebanyak 18 buah

Setelah bahan tersedia maka pembuatan model dapat dilakukan. Adapun tahapan pembuatan model adalah sebagai berikut :

- Membagi pipa aluminium menjadi 3 bagian dengan panjang masing-masing 48 cm.
- Membuat *end plate* silinder dari aluminium pejal sebanyak 6
- Membuat 2 lubang mur pada kedua ujung silinder sebagai tempat pengunci *end plate* dan pengunci asrat.
- Memasukkan asrat kedalam silinder

Untuk menambahkan helical rods pada silinder dilakukan dengan cara sebagai berikut :

- *End plate* silinder dibor pada 3 titik dengan sudut masing-masing 120° dari pusat dengan gap 3 mm.
- Potong kawat tembaga menjadi 3 bagian sama besar @52.5 cm untuk masing-masing model
- Agar lilitan merata pada setiap permukaan silinder, silinder dibungkus dengan kertas karton setebal 3 mm
- Masukkan ujung kawat pada *end plate* dan lilitkan kawat pada silinder sebanyak satu putaran sehingga membentuk helix

- Lepas bungkus kertas dan pasang gap pada 0,25 0,5 dan 0,75 panjang silinder.

Adapun model uji yang telah selesai dibuat tertera pada Gambar Lampiran 1 dan 2. Setelah model diuji, maka langkah selanjutnya adalah pembuatan tumpuan model.



Gambar Lampiran 1 Model silinder polos



Gambar Lampiran 2 Model silinder dengan *Triple Helical Rods* bergap

LAMPIRAN A-2
PROSES DAN HASIL KALIBRASI ALAT UKUR

KALIBRASI LOAD CELL



Gambar Lampiran 3. Diagram alir akuisi data sinyal pada load cell

Load cell yang digunakan dalam pengujian adalah load cell tipe S kapasitas 25 lb atau 111.11 N dan load cell tipe beam kapasitas 10 kg atau 100 N. Secara umum cara kerja load cell adalah memberikan sinyal listrik ketika dikenai beban tertentu. Sinyal listrik inilah yang kemudian diubah menjadi besaran gaya. Akuisisi data tersebut menggunakan perangkat lunak Labview and perangkat keras produk National Instrument. Agar pembacaan gaya pada load cell sesuai, maka perlu dilakukan kalibrasi load cell. Adapun Prosedur kalibrasi load cell adalah sebagai berikut.

- Mempersiapkan alat bantu yang digunakan, diantara timbangan digital, kepingan logam (atau benda bermassa lainnya) dan penyangga beban.



(a)



(b)

Gambar Lampiran 4. Peralatan yang digunakan untuk kalibrasi load cell (a) timbangan digital dan (b) kepingan logam dan penyangga.

- b. Pada data akuisisi software labview, persamaan yang digunakan adalah $y=x$; dimana berat benda tersebut sama dengan sinyal listrik yang ditangkap.
- c. Menimbang logam pada timbangan, kemudian hasil pengukuran dicatat.



Gambar Lampiran 5. Penimbangan logam pada timbangan

- d. Massa diletakkan pada load cell dengan kondisi tarik/tekan. Kemudian hasil sinyal listrik dicatat.



(a)



(b)

Gambar Lampiran 6. Pengukuran beban pada load cell untuk (a) kondisi tekan (b) kondisi tarik

- e. Lakukan langkah c-d tanpa mengurangi massa yang telah diletakkan pada load cell. Sehingga berat yang diterima load cell secara bertahap bertambah.
- f. Hasil pencatatan berat benda pada timbangan dan sinyal listrik yang diterima diplot dalam sebuah grafik.

LAMPIRAN B-1
HASIL REKAMAN PENGUJIAN

REKAMAN PENGUJIAN GAYA

POLOS TUNGGAL DRAG					
Date	Time	Vel	T	H	BP
dd/MM/yyyy	hh:mm:ss	m/s	deg C	%rh	hPa
24/08/2016	11:52:24	5.02	23.8	71.9	1002.1
24/08/2016	11:56:31	6.01	24.4	71.4	1002.1
24/08/2016	12:01:53	7.02	24.6	70.9	1002.1
24/08/2016	12:03:52	7.97	24.7	71	1002.2
24/08/2016	12:06:05	8.99	24.8	71	1001.9
24/08/2016	12:08:41	9.97	24.9	70.8	1002.2
24/08/2016	12:10:40	11.04	24.9	70.4	1002
24/08/2016	12:12:56	12.02	24.9	70	1002
24/08/2016	12:15:21	12.99	25.1	69.6	1001.9
24/08/2016	12:17:23	13.99	25	69.4	1002
24/08/2016	12:21:12	14.98	25.1	68.9	1001.9
24/08/2016	12:23:28	15.95	25.1	68.8	1001.8
24/08/2016	12:26:38	17.01	25.3	68.5	1001.6
24/08/2016	12:28:29	18	25.2	68.4	1001.7
24/08/2016	12:30:38	18.97	25.3	68.2	1001.7
24/08/2016	12:32:59	20.03	25.3	68.2	1001.6

POLOS TUNGGAL LIFT					
Date	Time	Vel	T	H	BP
dd/MM/yyyy	hh:mm:ss	m/s	deg C	%rh	hPa
19/08/2016	15:06:24	4.97	24.8	69.7	1000.5
19/08/2016	15:09:11	6.01	24.7	70.5	1000.3
19/08/2016	15:11:56	6.96	24.8	70.6	1000.2
19/08/2016	15:15:17	7.95	24.9	71.1	1000.3
19/08/2016	15:18:05	9.01	25	72.4	1000.2
19/08/2016	15:21:22	9.98	25	72.8	1000.2
19/08/2016	15:25:55	11	25.1	74.1	1000.3
19/08/2016	15:28:27	11.96	25.2	74.3	1000.2
19/08/2016	15:30:53	12.98	25.3	73.3	1000.2
19/08/2016	15:33:17	13.97	25.3	73.1	1000.4
19/08/2016	15:35:38	14.96	25.1	72.6	1000.3
19/08/2016	15:37:40	15.99	25.2	72.6	1000.4
19/08/2016	15:39:58	16.96	25.2	72.5	1000.4
19/08/2016	15:46:26	18.05	25.4	72.8	1000.5
19/08/2016	15:48:43	18.97	25.5	73.4	1000.4
19/08/2016	15:52:07	20.02	25.7	74.5	1000.3

HELIC TUNGGAL DRAG					
Date	Time	Vel	T	H	BP
dd/MM/yyyy	hh:mm:ss	m/s	deg C	%rh	hPa
26/08/2016	14:40:11	5.01	24.3	74.8	1002.6
26/08/2016	14:45:59	6.02	24.6	72.8	1002.7
26/08/2016	14:50:51	6.98	24.6	72.7	1002.6
26/08/2016	14:53:24	8	24.7	70.9	1002.7
26/08/2016	14:56:18	9.04	24.8	70.6	1002.7
26/08/2016	15:00:46	10.03	24.8	71.4	1002.7
26/08/2016	15:04:15	10.98	24.9	71.3	1002.6
26/08/2016	15:13:23	11.96	24.9	69.8	1002.6
26/08/2016	15:17:39	12.95	24.8	69.9	1002.6
26/08/2016	15:21:55	13.96	24.9	69.1	1002.7
26/08/2016	15:26:47	15.01	24.9	70.6	1002.6
26/08/2016	15:30:29	16.02	25.2	69.9	1002.7
26/08/2016	15:32:57	16.96	25.2	70.3	1002.7
26/08/2016	15:38:06	17.99	25.2	70.3	1002.8
26/08/2016	15:41:10	19.03	25.3	70.5	1002.8
26/08/2016	15:45:35	20.04	25.3	70.8	1002.7

HELIC TUNGGAL LIFT					
Date	Time	Vel	T	H	BP
dd/MM/yyyy	hh:mm:ss	m/s	deg C	%rh	hPa
29/08/2016	14:56:36	5.04	24.2	78.8	1003.1
29/08/2016	15:01:05	6.04	24.2	77	1003
29/08/2016	15:04:19	7.01	24.2	75.8	1003
29/08/2016	15:08:28	8.03	24.4	75.1	1003
29/08/2016	15:10:36	9.01	24.5	76.1	1003.1
29/08/2016	15:17:27	10.01	24.5	74.1	1002.8
29/08/2016	15:22:08	10.98	24.5	72.5	1002.9
29/08/2016	15:24:43	11.99	24.6	72.2	1002.8
29/08/2016	15:30:26	13.03	24.6	72	1002.7
29/08/2016	15:32:49	13.99	24.7	71.3	1002.6
29/08/2016	15:34:54	14.97	24.7	71.6	1002.7
29/08/2016	15:39:15	15.95	24.5	71.3	1002.9
29/08/2016	15:43:42	16.97	24.6	71.7	1003
29/08/2016	15:47:37	17.95	24.7	72.2	1003
29/08/2016	15:51:04	19	24.7	72.6	1002.8
29/08/2016	15:53:20	20.02	24.8	72.1	1002.9

1,75D DRAG SIDE-BY-SIDE					
Date	Time	Vel	T	H	BP
dd/MM/yyyy	hh:mm:ss	m/s	deg C	%rh	hPa
31/08/2016	11:17:13	5,00	24,0	77,1	1007,4
31/08/2016	11:21:30	6,00	24,2	77,7	1007,5
31/08/2016	11:23:54	6,99	24,4	77,1	1007,3
31/08/2016	11:26:55	7,98	24,4	77,4	1007,4
31/08/2016	11:31:30	9,00	24,8	77,5	1007,3
31/08/2016	11:35:32	9,99	24,6	77,3	1007,3
31/08/2016	11:39:35	11,01	24,8	76,1	1007,3
31/08/2016	11:41:58	11,98	25,0	76,6	1007,2
31/08/2016	11:46:40	13,04	25,0	76,1	1007,1
31/08/2016	11:50:04	13,98	25,0	75,8	1007,0
31/08/2016	11:52:09	15,05	25,0	75,7	1007,0
31/08/2016	11:56:18	16,02	25,3	75,3	1007,1
31/08/2016	12:01:11	16,97	25,3	75,5	1006,9
31/08/2016	12:07:28	17,95	25,3	75,8	1006,7
31/08/2016	12:11:18	19,00	25,4	75,5	1007,0
31/08/2016	12:22:05	20,03	25,5	76,1	1006,8

1,75D LIFT SIDE-BY-SIDE					
Date	Time	Vel	T	H	BP
dd/MM/yyyy	hh:mm:ss	m/s	deg C	%rh	hPa
02/09/2016	15:11:08	5,00	23,8	78,8	1002,1
02/09/2016	15:13:13	6,02	24,2	79,6	1002,2
02/09/2016	15:15:18	6,95	24,3	78,6	1002,2
02/09/2016	15:18:40	7,97	24,5	78,7	1002,2
02/09/2016	15:23:03	9,05	24,6	77,6	1002,0
02/09/2016	15:25:28	9,98	24,6	76,9	1002,2
02/09/2016	15:27:04	10,98	24,8	76,5	1002,2
02/09/2016	15:30:13	11,98	24,9	76,0	1001,9
02/09/2016	15:31:41	12,99	24,9	75,8	1002,1
02/09/2016	15:35:56	14,00	25,1	74,8	1002,1
02/09/2016	15:37:54	14,99	25,1	74,6	1002,0
02/09/2016	15:42:15	16,05	25,1	74,2	1002,0
02/09/2016	15:51:14	16,99	25,3	73,7	1002,1
02/09/2016	15:55:35	17,95	25,3	73,5	1002,1
02/09/2016	15:58:43	18,97	25,4	74,2	1002,1
02/09/2016	16:02:03	19,98	25,5	73,8	1001,9

2D DRAG SIDE-BY-SIDE					
Date	Time	Vel	T	H	BP
dd/MM/yyyy	hh:mm:ss	m/s	deg C	%rh	hPa
31/08/2016	14:38:54	4,96	24,3	75,3	1003,8
31/08/2016	14:41:10	5,96	24,5	74,5	1003,6
31/08/2016	14:44:28	6,98	24,6	73,3	1003,7
31/08/2016	14:46:29	7,98	24,5	72,5	1003,6
31/08/2016	14:48:57	8,99	24,6	71,7	1003,6
31/08/2016	14:52:24	9,99	24,6	70,7	1003,6
31/08/2016	14:59:02	11,03	24,8	69,7	1003,6
31/08/2016	15:03:31	11,96	24,9	68,3	1003,4
31/08/2016	15:07:35	12,97	25,1	67,6	1003,5
31/08/2016	15:09:48	14,03	25,0	67,2	1003,3
31/08/2016	15:12:40	14,95	25,2	66,8	1003,2
31/08/2016	15:16:51	15,97	25,2	66,9	1003,1
31/08/2016	15:18:52	16,98	25,3	66,2	1003,2
31/08/2016	15:23:08	17,99	25,3	66,1	1003,3
31/08/2016	15:25:32	19,03	25,3	66,2	1003,3
31/08/2016	15:27:01	20,05	25,4	66,0	1003,4

2D DRAG SIDE-BY-SIDE					
Date	Time	Vel	T	H	BP
dd/MM/yyyy	hh:mm:ss	m/s	deg C	%rh	hPa
06/09/2016	9:34:05	4,97	24,3	71,9	1008,7
06/09/2016	9:37:42	6,02	24,4	71,9	1008,6
06/09/2016	9:42:05	7,04	24,7	72,5	1008,6
06/09/2016	9:46:08	7,97	24,7	71,8	1008,7
06/09/2016	9:49:25	9,04	24,8	71,3	1008,6
06/09/2016	9:51:24	10,05	24,8	71,6	1008,6
06/09/2016	9:54:25	11,03	24,7	69,9	1008,6
06/09/2016	9:55:47	11,98	24,9	70,0	1008,5
06/09/2016	9:57:41	13,03	24,9	69,3	1008,5
06/09/2016	9:59:44	13,97	24,9	69,4	1008,5
06/09/2016	10:03:12	15,05	25,0	69,0	1008,4
06/09/2016	10:05:55	16,02	24,9	68,6	1008,4
06/09/2016	10:09:24	17,04	25,0	68,7	1008,3
06/09/2016	10:12:22	17,98	24,9	68,7	1008,3
06/09/2016	10:13:17	19,04	24,9	68,6	1008,2
06/09/2016	10:19:57	20,05	25,0	68,5	1008,3

2,50D DRAG SIDE-BY-SIDE					
Date	Time	Vel	T	H	BP
dd/MM/yyyy	hh:mm:ss	m/s	deg C	%rh	hPa
01/09/2016	11:06:10	4,95	24,3	77,3	1006,7
01/09/2016	11:10:01	5,97	24,1	75,3	1006,7
01/09/2016	11:13:32	7,02	24,1	74,7	1006,5
01/09/2016	11:17:44	8,04	24,3	73,2	1006,6
01/09/2016	11:18:45	9,00	24,5	72,7	1006,6
01/09/2016	11:24:48	9,95	24,6	73,2	1006,6
01/09/2016	11:31:02	11,00	24,9	72,7	1006,4
01/09/2016	11:35:15	12,00	24,7	71,4	1006,4
01/09/2016	11:40:20	13,01	24,9	71,1	1006,2
01/09/2016	11:44:18	14,04	24,9	70,8	1006,1
01/09/2016	11:45:33	14,97	24,8	70,9	1006,1
01/09/2016	11:49:17	15,95	25,0	70,2	1005,9
01/09/2016	11:51:29	17,03	25,0	70,2	1006,0
01/09/2016	11:53:52	18,04	25,0	69,7	1005,9
01/09/2016	11:57:07	18,98	25,0	69,6	1005,8
01/09/2016	11:58:45	20,03	25,1	69,4	1006,0

2,50D LIFT SIDE-BY-SIDE					
Date	Time	Vel	T	H	BP
dd/MM/yyyy	hh:mm:ss	m/s	deg C	%rh	hPa
01/09/2016	15:53:12	5,04	24,0	81,6	1002,6
01/09/2016	15:56:35	6,04	24,4	82,0	1002,5
01/09/2016	15:59:09	7,03	24,4	82,1	1002,8
01/09/2016	16:01:49	8,05	24,7	81,1	1002,7
01/09/2016	16:05:13	9,03	24,8	81,7	1002,3
01/09/2016	16:07:16	9,97	24,9	81,5	1002,4
01/09/2016	16:08:52	10,98	24,8	80,0	1002,2
01/09/2016	16:10:49	11,95	25,0	79,7	1002,5
01/09/2016	16:12:32	12,95	25,0	79,4	1002,4
01/09/2016	16:14:29	14,03	25,0	78,9	1002,5
01/09/2016	16:20:27	14,97	25,1	77,6	1002,5
01/09/2016	16:22:32	16,01	25,1	77,2	1002,4
01/09/2016	16:25:48	17,05	25,1	76,7	1002,6
01/09/2016	16:27:48	18,03	25,2	76,6	1002,7
01/09/2016	16:31:26	19,02	25,4	76,2	1002,7
01/09/2016	16:35:32	19,96	25,4	75,9	1002,6

LAMPIRAN B-2
DETAIL PERHITUNGAN

DETAIL PERHITUNGAN GAYA DRAG

Model			Properti Udara		
L	0.48	cm	Rspesific Dry Air	287.058	J/(Kg.K)
D	0.0508	cm	b viscosity	1.458E-06	Kg/ms(K^0,5)
			S viscosity	110.4	K
			P absollute	100000	Pa

	V	V aktual	T	T	P	ρ udara	μ	ν	Re	dalam gram			dalam N			1/CD	Koefisien Drag		
	(m/s)	(m/s)	(celcius)	(kelvin)	(hPa)	(kg/m3)	kg/m.s	m2/s		F rms	F mean	F osilasi	F rms	F mean	F osilasi		Cd rms	Cd mean	Cd osilasi
Polos tunggal	5	5.02	23.8	296.95	1002.1	1.17560	1.832E-05	1.558E-05	16368.57	44.3200	36.8904	7.4296	0.4348	0.3619	0.0729	0.3612	1.2037	1.0019	0.2018
	6	6.01	24.4	297.55	1002.1	1.17323	1.834E-05	1.564E-05	19526.71	59.8089	54.8983	4.9105	0.5867	0.5386	0.0482	0.5167	1.1356	1.0424	0.0932
	7	7.02	24.6	297.75	1002.1	1.17244	1.835E-05	1.565E-05	22781.12	82.9746	77.5456	5.4291	0.8140	0.7607	0.0533	0.7044	1.1555	1.0799	0.0756
	8	7.97	24.7	297.85	1002.2	1.17216	1.836E-05	1.566E-05	25851.24	103.7768	98.7392	5.0376	1.0181	0.9686	0.0494	0.9078	1.1215	1.0670	0.0544
	9	8.99	24.8	297.95	1001.9	1.17142	1.836E-05	1.568E-05	29133.64	133.8268	131.2405	2.5863	1.3128	1.2875	0.0254	1.1543	1.1374	1.1154	0.0220
	10	9.97	24.9	298.05	1002.2	1.17137	1.837E-05	1.568E-05	32299.97	170.1743	167.7763	2.3981	1.6694	1.6459	0.0235	1.4196	1.1760	1.1594	0.0166
	11	11.04	24.9	298.05	1002	1.17114	1.837E-05	1.568E-05	35759.33	211.6498	210.1409	1.5088	2.0763	2.0615	0.0148	1.7403	1.1931	1.1846	0.0085
	12	12.02	24.9	298.05	1002	1.17114	1.837E-05	1.568E-05	38933.62	254.0517	253.0221	1.0296	2.4922	2.4821	0.0101	2.0630	1.2081	1.2032	0.0049
	13	12.99	25.1	298.25	1001.9	1.17024	1.838E-05	1.57E-05	42021.39	296.6745	294.6518	2.0227	2.9104	2.8905	0.0198	2.4075	1.2089	1.2006	0.0082
	14	13.99	25	298.15	1002	1.17075	1.837E-05	1.569E-05	45287.69	344.7325	342.7976	1.9349	3.3818	3.3628	0.0190	2.7937	1.2105	1.2037	0.0068
	15	14.98	25.1	298.25	1001.9	1.17024	1.838E-05	1.57E-05	48458.85	401.9411	400.0334	1.9077	3.9430	3.9243	0.0187	3.2016	1.2316	1.2257	0.0058
	16	15.95	25.1	298.25	1001.8	1.17012	1.838E-05	1.571E-05	51591.56	462.4207	460.0367	2.3839	4.5363	4.5130	0.0234	3.6293	1.2499	1.2435	0.0064
	17	17.01	25.3	298.45	1001.6	1.16910	1.839E-05	1.573E-05	54943.99	543.5850	538.5314	5.0536	5.3326	5.2830	0.0496	4.1242	1.2930	1.2810	0.0120
	18	18	25.2	298.35	1001.7	1.16961	1.838E-05	1.572E-05	58182.10	612.6012	604.3452	8.2560	6.0096	5.9286	0.0810	4.6202	1.3007	1.2832	0.0175
	19	18.97	25.3	298.45	1001.7	1.16922	1.839E-05	1.573E-05	61281.10	651.5829	646.4060	5.1769	6.3920	6.3412	0.0508	5.1299	1.2460	1.2361	0.0099
	20	20.03	25.3	298.45	1001.6	1.16910	1.839E-05	1.573E-05	64698.89	718.8429	709.5675	9.2754	7.0518	6.9609	0.0910	5.7186	1.2331	1.2172	0.0159

Helic tunggal	V	V aktual	T	T	P	ρ udara	μ	v	Re	dalam gram			dalam N			1/CD	Koefisien Drag		
	(m/s)	(m/s)	(celcius)	(kelvin)	(hPa)	(kg/m3)	kg/m.s	m2/s		F rms	F mean	F osilasi	F rms	F mean	F osilasi		Cd rms	Cd mean	Cd osilasi
	5	5.01	24.3	297.45	1002.6	1.17421	1.834E-05	1.562E-05	16295.49	46.8678	33.2325	13.6352	0.4598	0.3260	0.1338	0.3593	1.2795	0.9073	0.3723
	6	6.02	24.6	297.75	1002.7	1.17314	1.835E-05	1.564E-05	19547.64	64.5252	54.1637	10.3615	0.6330	0.5313	0.1016	0.5183	1.2212	1.0251	0.1961
	7	6.98	24.6	297.75	1002.6	1.17302	1.835E-05	1.565E-05	22662.62	86.1312	76.6284	9.5028	0.8449	0.7517	0.0932	0.6968	1.2127	1.0789	0.1338
	8	8	24.7	297.85	1002.7	1.17275	1.836E-05	1.565E-05	25961.50	110.4563	100.2209	10.2353	1.0836	0.9832	0.1004	0.9151	1.1841	1.0744	0.1097
	9	9.04	24.8	297.95	1002.7	1.17235	1.836E-05	1.566E-05	29319.06	132.4802	127.0749	5.4053	1.2996	1.2466	0.0530	1.1681	1.1126	1.0672	0.0454
	10	10.03	24.8	297.95	1002.7	1.17235	1.836E-05	1.566E-05	32529.89	160.0821	157.1895	2.8926	1.5704	1.5420	0.0284	1.4379	1.0921	1.0724	0.0197
	11	10.98	24.9	298.05	1002.6	1.17184	1.837E-05	1.567E-05	35586.29	192.8160	189.8116	3.0043	1.8915	1.8621	0.0295	1.7225	1.0982	1.0810	0.0171
	12	11.96	24.9	298.05	1002.6	1.17184	1.837E-05	1.567E-05	38762.47	232.2494	229.8419	2.4075	2.2784	2.2547	0.0236	2.0436	1.1149	1.1033	0.0116
	13	12.95	24.8	297.95	1002.6	1.17223	1.836E-05	1.566E-05	41996.02	268.8554	266.0959	2.7595	2.6375	2.6104	0.0271	2.3968	1.1004	1.0891	0.0113
	14	13.96	24.9	298.05	1002.7	1.17196	1.837E-05	1.567E-05	45249.01	315.2157	308.6387	6.5770	3.0923	3.0277	0.0645	2.7846	1.1105	1.0873	0.0232
	15	15.01	24.9	298.05	1002.6	1.17184	1.837E-05	1.567E-05	48647.55	356.8723	353.7860	3.0863	3.5009	3.4706	0.0303	3.2189	1.0876	1.0782	0.0094
	16	16.02	25.2	298.35	1002.7	1.17078	1.838E-05	1.57E-05	51833.76	405.3710	401.3214	4.0496	3.9767	3.9370	0.0397	3.6633	1.0855	1.0747	0.0108
	17	16.96	25.2	298.35	1002.7	1.17078	1.838E-05	1.57E-05	54875.19	453.7009	451.4214	2.2795	4.4508	4.4284	0.0224	4.1058	1.0840	1.0786	0.0054
	18	17.99	25.2	298.35	1002.8	1.17090	1.838E-05	1.57E-05	58213.63	509.6218	506.4547	3.1670	4.9994	4.9683	0.0311	4.6201	1.0821	1.0754	0.0067
	19	19.03	25.3	298.45	1002.8	1.17050	1.839E-05	1.571E-05	61542.44	567.3292	565.1394	2.1897	5.5655	5.5440	0.0215	5.1680	1.0769	1.0728	0.0042
	20	20.04	25.3	298.45	1002.7	1.17039	1.839E-05	1.571E-05	64802.28	623.5836	618.2238	5.3597	6.1174	6.0648	0.0526	5.7306	1.0675	1.0583	0.0092

Cd atas T=1,75D	V	V aktual	T	T	P	ρ udara	μ	v	Re	dalam gram			dalam N			1/CD	Koefisien Drag		
	(m/s)	(m/s)	(celcius)	(kelvin)	(hPa)	(kg/m3)	kg/m.s	m2/s		F rms	F mean	F osilasi	F rms	F mean	F osilasi		Cd rms	Cd mean	Cd osilasi
	5	5	24.5	297.65	1007.4	1.17903	1.835E-05	1.556E-05	16321.39	57.2998	54.1119	3.1880	0.5621	0.5308	0.0313	0.3594	1.5642	1.4771	0.0870
	6	6	24	297.15	1007.5	1.18114	1.832E-05	1.551E-05	19646.01	83.5439	81.3181	2.2258	0.8196	0.7977	0.0218	0.5184	1.5809	1.5388	0.0421
	7	6.99	24.2	297.35	1007.3	1.18011	1.833E-05	1.554E-05	22855.81	109.0897	107.6304	1.4593	1.0702	1.0559	0.0143	0.7030	1.5223	1.5019	0.0204
	8	7.98	24.4	297.55	1007.4	1.17943	1.834E-05	1.555E-05	26064.44	142.8468	140.9197	1.9271	1.4013	1.3824	0.0189	0.9157	1.5303	1.5097	0.0206
	9	9	24.8	297.95	1007.3	1.17773	1.836E-05	1.559E-05	29323.24	182.0594	180.3629	1.6964	1.7860	1.7694	0.0166	1.1631	1.5356	1.5213	0.0143
	10	9.99	24.6	297.75	1007.3	1.17852	1.835E-05	1.557E-05	32587.51	229.1899	228.2766	0.9133	2.2484	2.2394	0.0090	1.4340	1.5679	1.5617	0.0062
	11	11.01	24.8	297.95	1007.3	1.17773	1.836E-05	1.559E-05	35872.10	281.0843	280.0335	1.0508	2.7574	2.7471	0.0103	1.7406	1.5842	1.5783	0.0059
	12	11.98	25	298.15	1007.2	1.17682	1.837E-05	1.561E-05	38982.28	336.5204	335.3968	1.1236	3.3013	3.2902	0.0110	2.0592	1.6032	1.5978	0.0054
	13	13.04	25	298.15	1007.1	1.17671	1.837E-05	1.561E-05	42427.25	391.4197	389.0924	2.3274	3.8398	3.8170	0.0228	2.4395	1.5740	1.5647	0.0094
	14	13.98	25	298.15	1007.0	1.17659	1.837E-05	1.561E-05	45481.14	446.7912	444.8059	1.9852	4.3830	4.3635	0.0195	2.8036	1.5634	1.5564	0.0069
	15	15.05	25	298.15	1007.0	1.17659	1.837E-05	1.561E-05	48962.17	523.1400	521.2876	1.8524	5.1320	5.1138	0.0182	3.2492	1.5795	1.5739	0.0056
	16	16.02	25.3	298.45	1007.1	1.17552	1.839E-05	1.564E-05	52030.34	588.0397	586.2164	1.8234	5.7687	5.7508	0.0179	3.6782	1.5684	1.5635	0.0049
	17	16.97	25.3	298.45	1006.9	1.17529	1.839E-05	1.564E-05	55104.84	667.8291	666.3498	1.4793	6.5514	6.5369	0.0145	4.1265	1.5876	1.5841	0.0035
	18	17.95	25.3	298.45	1006.7	1.17506	1.839E-05	1.565E-05	58275.51	754.2691	751.9531	2.3160	7.3994	7.3767	0.0227	4.6160	1.6030	1.5981	0.0049
	19	19	25.4	298.55	1007.0	1.17501	1.839E-05	1.565E-05	61666.19	823.5032	819.9838	3.5193	8.0786	8.0440	0.0345	5.1716	1.5621	1.5554	0.0067
	20	20.03	25.5	298.65	1006.8	1.17439	1.84E-05	1.566E-05	64957.72	914.1546	909.4012	4.7535	8.9679	8.9212	0.0466	5.7444	1.5611	1.5530	0.0081

Cd bawah T=1,75D	V	V aktual	T	T	P	ρ udara	μ	v	Re	dalam gram			dalam N			1/CD	Koefisien Drag		
	(m/s)	(m/s)	(celcius)	(kelvin)	(hPa)	(kg/m ³)	kg/m.s	m ² /s		F rms	F mean	F osilasi	F rms	F mean	F osilasi		Cd rms	Cd mean	Cd osilasi
	5	5	24	297.15	1007.4	1.18102	1.832E-05	1.552E-05	16370.05	66.1132	60.8991	5.2141	0.6486	0.5974	0.0512	0.3600	1.8017	1.6596	0.1421
	6	6	24.2	297.35	1007.5	1.18034	1.833E-05	1.553E-05	19622.62	93.5853	89.8134	3.7720	0.9181	0.8811	0.0370	0.5181	1.7721	1.7007	0.0714
	7	6.99	24.4	297.55	1007.3	1.17931	1.834E-05	1.555E-05	22828.62	120.2571	118.8321	1.4250	1.1797	1.1657	0.0140	0.7025	1.6793	1.6594	0.0199
	8	7.98	24.4	297.55	1007.4	1.17943	1.834E-05	1.555E-05	26064.44	154.4481	152.0520	2.3961	1.5151	1.4916	0.0235	0.9157	1.6546	1.6290	0.0257
	9	9	24.8	297.95	1007.3	1.17773	1.836E-05	1.559E-05	29323.24	199.4852	196.1530	3.3322	1.9570	1.9243	0.0327	1.1631	1.6826	1.6545	0.0281
	10	9.99	24.6	297.75	1007.3	1.17852	1.835E-05	1.557E-05	32587.51	245.8478	244.4611	1.3867	2.4118	2.3982	0.0136	1.4340	1.6819	1.6724	0.0095
	11	11.01	24.8	297.95	1007.3	1.17773	1.836E-05	1.559E-05	35872.10	301.2791	299.5653	1.7138	2.9555	2.9387	0.0168	1.7406	1.6980	1.6884	0.0097
	12	11.98	25	298.15	1007.2	1.17682	1.837E-05	1.561E-05	38982.28	357.8837	356.0061	1.8777	3.5108	3.4924	0.0184	2.0592	1.7049	1.6960	0.0089
	13	13.04	25	298.15	1007.1	1.17671	1.837E-05	1.561E-05	42427.25	420.5489	417.9376	2.6113	4.1256	4.1000	0.0256	2.4395	1.6912	1.6807	0.0105
	14	13.98	25	298.15	1007.0	1.17659	1.837E-05	1.561E-05	45481.14	487.8790	485.2363	2.6427	4.7861	4.7602	0.0259	2.8036	1.7071	1.6979	0.0092
	15	15.05	25	298.15	1007.0	1.17659	1.837E-05	1.561E-05	48962.17	558.0607	556.3561	1.7046	5.4746	5.4579	0.0167	3.2492	1.6849	1.6798	0.0051
	16	16.02	25.3	298.45	1007.1	1.17552	1.839E-05	1.564E-05	52030.34	636.2110	634.6899	1.5212	6.2412	6.2263	0.0149	3.6782	1.6968	1.6928	0.0041
	17	16.97	25.3	298.45	1006.9	1.17529	1.839E-05	1.564E-05	55104.84	708.9470	707.2306	1.7164	6.9548	6.9379	0.0168	4.1265	1.6854	1.6813	0.0041
	18	17.95	25.3	298.45	1006.7	1.17506	1.839E-05	1.565E-05	58275.10	785.0172	782.4527	2.5645	7.7010	7.6759	0.0252	4.6160	1.6683	1.6629	0.0055
	19	19	25.4	298.55	1007.0	1.17501	1.839E-05	1.565E-05	61666.19	858.3906	855.3825	3.0082	8.4208	8.3913	0.0295	5.1716	1.6283	1.6226	0.0057
	20	20.03	25.5	298.65	1006.8	1.17439	1.84E-05	1.566E-05	64957.72	946.4527	943.9033	2.5495	9.2847	9.2597	0.0250	5.7444	1.6163	1.6119	0.0044

Cd atas T=2,00D	V	V aktual	T	T	P	ρ udara	μ	v	Re	dalam gram			dalam N			1/CD	Koefisien Drag		
	(m/s)	(m/s)	(celcius)	(kelvin)	(hPa)	(kg/m ³)	kg/m.s	m ² /s		F rms	F mean	F osilasi	F rms	F mean	F osilasi		Cd rms	Cd mean	Cd osilasi
	5	5	24.3	297.45	1006.7	1.17901	1.834E-05	1.555E-05	16329.47	60.7506	58.2878	2.4628	0.5960	0.5718	0.0242	0.3594	1.6584	1.5912	0.0672
	6	5.96	24.5	297.65	1006.7	1.17821	1.835E-05	1.557E-05	19441.58	86.9246	84.1458	2.7788	0.8527	0.8255	0.0273	0.5103	1.6712	1.6177	0.0534
	7	6.98	24.6	297.75	1006.5	1.17759	1.835E-05	1.559E-05	22750.77	118.6749	117.3704	1.3046	1.1642	1.1514	0.0128	0.6995	1.6644	1.6461	0.0183
	8	7.98	24.5	297.65	1006.6	1.17810	1.835E-05	1.557E-05	26028.25	151.3113	150.2796	1.0317	1.4844	1.4742	0.0101	0.9147	1.6228	1.6118	0.0111
	9	8.99	24.6	297.75	1006.6	1.17770	1.835E-05	1.558E-05	29305.12	192.6976	191.7150	0.9826	1.8904	1.8807	0.0096	1.1605	1.6290	1.6207	0.0083
	10	9.99	24.6	297.75	1006.6	1.17770	1.835E-05	1.558E-05	32564.87	241.1736	240.0863	1.0874	2.3659	2.3552	0.0107	1.4330	1.6510	1.6436	0.0074
	11	11.03	24.8	297.95	1006.4	1.17668	1.836E-05	1.561E-05	35905.15	304.4068	303.0769	1.3299	2.9862	2.9732	0.0130	1.7454	1.7110	1.7035	0.0075
	12	11.96	24.9	298.05	1006.4	1.17628	1.837E-05	1.561E-05	38909.39	359.4154	358.0268	1.3886	3.5259	3.5122	0.0136	2.0514	1.7188	1.7121	0.0066
	13	12.97	25.1	298.25	1006.2	1.17526	1.838E-05	1.564E-05	42136.77	427.5302	424.0999	3.4304	4.1941	4.1604	0.0337	2.4104	1.7400	1.7260	0.0140
	14	14.03	25	298.15	1006.1	1.17554	1.837E-05	1.563E-05	45603.01	462.3067	459.7761	2.5306	4.5352	4.5104	0.0248	2.8212	1.6076	1.5988	0.0088
	15	14.95	25.2	298.35	1006.1	1.17475	1.838E-05	1.565E-05	48535.73	532.9385	531.2948	1.6437	5.2281	5.2120	0.0161	3.2011	1.6332	1.6282	0.0050
	16	15.97	25.2	298.35	1005.9	1.17452	1.838E-05	1.565E-05	51836.89	646.8609	645.6980	1.1629	6.3457	6.3343	0.0114	3.6521	1.7375	1.7344	0.0031
	17	16.98	25.3	298.45	1006.0	1.17424	1.839E-05	1.566E-05	55088.03	708.2351	703.8477	4.3874	6.9478	6.9047	0.0430	4.1277	1.6832	1.6728	0.0104
	18	17.99	25.3	298.45	1005.9	1.17412	1.839E-05	1.566E-05	58358.96	824.6645	821.8602	2.8043	8.0900	8.0624	0.0275	4.6329	1.7462	1.7403	0.0059
	19	19.03	25.3	298.45	1005.8	1.17401	1.839E-05	1.566E-05	61726.55	891.0708	889.4240	1.6468	8.7414	8.7252	0.0162	5.1835	1.6864	1.6833	0.0031
	20	20.05	25.4	298.55	1006.0	1.17385	1.839E-05	1.567E-05	65009.44	993.8800	987.5943	6.2857	9.7500	9.6883	0.0617	5.7533	1.6947	1.6840	0.0107

Cd bawah T=2,00D	V	V aktual	T	T	P	ρ udara	μ	v	Re	dalam gram			dalam N			1/CD	Koefisien Drag		
	(m/s)	(m/s)	(celcius)	(kelvin)	(hPa)	(kg/m3)	kg/m.s	m2/s		F rms	F mean	F osilasi	F rms	F mean	F osilasi		Cd rms	Cd mean	Cd osilasi
	5	5	24.3	297.45	1006.7	1.17901	1.834E-05	1.555E-05	16329.47	65.1527	59.0305	6.1222	0.6391	0.5791	0.0601	0.3594	1.7786	1.6114	0.1671
	6	5.96	24.5	297.65	1006.7	1.17821	1.835E-05	1.557E-05	19441.58	88.6740	83.7964	4.8777	0.8699	0.8220	0.0478	0.5103	1.7048	1.6110	0.0938
	7	6.98	24.6	297.75	1006.5	1.17759	1.835E-05	1.559E-05	22750.77	119.6282	116.2181	3.4101	1.1736	1.1401	0.0335	0.6995	1.6777	1.6299	0.0478
	8	7.98	24.5	297.65	1006.6	1.17810	1.835E-05	1.557E-05	26028.25	150.0387	148.1604	1.8783	1.4719	1.4535	0.0184	0.9147	1.6092	1.5891	0.0201
	9	8.99	24.6	297.75	1006.6	1.17770	1.835E-05	1.558E-05	29305.12	191.2275	189.2343	1.9932	1.8759	1.8564	0.0196	1.1605	1.6166	1.5997	0.0168
	10	9.99	24.6	297.75	1006.6	1.17770	1.835E-05	1.558E-05	32564.87	239.3796	236.6379	2.7416	2.3483	2.3214	0.0269	1.4330	1.6388	1.6200	0.0188
	11	11.03	24.8	297.95	1006.4	1.17668	1.836E-05	1.561E-05	35905.15	301.3348	299.6571	1.6778	2.9561	2.9396	0.0165	1.7454	1.6937	1.6843	0.0094
	12	11.96	24.9	298.05	1006.4	1.17628	1.837E-05	1.561E-05	38909.39	359.1980	357.4560	1.7420	3.5237	3.5066	0.0171	2.0514	1.7177	1.7094	0.0083
	13	12.97	25.1	298.25	1006.2	1.17526	1.838E-05	1.564E-05	42136.77	422.6040	419.4324	3.1716	4.1457	4.1146	0.0311	2.4104	1.7199	1.7070	0.0129
	14	14.03	25	298.15	1006.1	1.17554	1.837E-05	1.563E-05	45603.01	457.1054	454.7314	2.3740	4.4842	4.4609	0.0233	2.8212	1.5895	1.5812	0.0083
	15	14.95	25.2	298.35	1006.1	1.17475	1.838E-05	1.565E-05	48535.73	530.9321	529.1987	1.7335	5.2084	5.1914	0.0170	3.2011	1.6271	1.6218	0.0053
	16	15.97	25.2	298.35	1005.9	1.17452	1.838E-05	1.565E-05	51836.89	648.4328	646.7489	1.6839	6.3611	6.3446	0.0165	3.6521	1.7418	1.7372	0.0045
	17	16.98	25.3	298.45	1006.0	1.17424	1.839E-05	1.566E-05	55088.03	739.9504	732.3829	7.5675	7.2589	7.1847	0.0742	4.1277	1.7586	1.7406	0.0180
	18	17.99	25.3	298.45	1005.9	1.17412	1.839E-05	1.566E-05	58358.96	837.2283	834.1904	3.0379	8.2132	8.1834	0.0298	4.6329	1.7728	1.7664	0.0064
	19	19.03	25.3	298.45	1005.8	1.17401	1.839E-05	1.566E-05	61726.55	922.1655	918.7015	3.4639	9.0464	9.0125	0.0340	5.1835	1.7452	1.7387	0.0066
	20	20.05	25.4	298.55	1006.0	1.17385	1.839E-05	1.567E-05	65009.44	1018.9111	1014.1927	4.7184	9.9955	9.9492	0.0463	5.7533	1.7374	1.7293	0.0080

Cd atas T=2,50D	V	V aktual	T	T	P	ρ udara	μ	v	Re	dalam gram			dalam N			1/CD	Koefisien Drag		
	(m/s)	(m/s)	(celcius)	(kelvin)	(hPa)	(kg/m3)	kg/m.s	m2/s		F rms	F mean	F osilasi	F rms	F mean	F osilasi		Cd rms	Cd mean	Cd osilasi
	5	4.95	24.30	297.45	1003.1	1.17479	1.834E-05	1.561E-05	16108.37	60.8251	58.2691	2.5560	0.5967	0.5716	0.0251	0.3510	1.7002	1.6288	0.0714
	6	5.97	24.10	297.25	1003.2	1.17570	1.833E-05	1.559E-05	19452.76	84.8567	82.6366	2.2202	0.8324	0.8107	0.0218	0.5109	1.6294	1.5868	0.0426
	7	7.02	24.10	297.25	1003.1	1.17558	1.833E-05	1.559E-05	22871.82	117.0615	115.1019	1.9596	1.1484	1.1291	0.0192	0.7063	1.6259	1.5986	0.0272
	8	8.04	24.30	297.45	1003.0	1.17467	1.834E-05	1.561E-05	26161.28	152.1762	149.6541	2.5221	1.4928	1.4681	0.0247	0.9258	1.6125	1.5858	0.0267
	9	9.00	24.50	297.65	1003.0	1.17388	1.835E-05	1.563E-05	29250.19	191.2457	190.3821	0.8636	1.8761	1.8676	0.0085	1.1593	1.6184	1.6111	0.0073
	10	9.95	24.60	297.75	1003.0	1.17349	1.835E-05	1.564E-05	32318.48	239.4548	238.7239	0.7308	2.3491	2.3419	0.0072	1.4164	1.6584	1.6533	0.0051
	11	11.00	24.90	298.05	1002.9	1.17219	1.837E-05	1.567E-05	35661.77	292.6685	291.9798	0.6888	2.8711	2.8643	0.0068	1.7293	1.6603	1.6564	0.0039
	12	12.00	24.70	297.85	1002.9	1.17298	1.836E-05	1.565E-05	38950.01	346.3523	345.0047	1.3476	3.3977	3.3845	0.0132	2.0593	1.6499	1.6435	0.0064
	13	13.01	24.90	298.05	1002.9	1.17219	1.837E-05	1.567E-05	42178.15	402.0571	400.5804	1.4768	3.9442	3.9297	0.0145	2.4190	1.6305	1.6245	0.0060
	14	14.04	24.90	298.05	1002.7	1.17196	1.837E-05	1.567E-05	45508.31	467.2883	465.9286	1.3597	4.5841	4.5708	0.0133	2.8166	1.6275	1.6228	0.0047
	15	14.97	24.80	297.95	1002.8	1.17247	1.836E-05	1.566E-05	48556.43	531.9805	530.1822	1.7983	5.2187	5.2011	0.0176	3.2035	1.6291	1.6236	0.0055
	16	15.95	25.00	298.15	1002.9	1.17180	1.837E-05	1.568E-05	51678.87	603.0450	601.9020	1.1430	5.9159	5.9047	0.0112	3.6345	1.6277	1.6246	0.0031
	17	17.03	25.00	298.15	1002.9	1.17180	1.837E-05	1.568E-05	55178.13	685.1431	683.7512	1.3919	6.7213	6.7076	0.0137	4.1434	1.6222	1.6189	0.0033
	18	18.04	25.00	298.15	1002.8	1.17168	1.837E-05	1.568E-05	58444.76	765.5421	763.2886	2.2535	7.5100	7.4879	0.0221	4.6490	1.6154	1.6106	0.0048
	19	18.98	25.00	298.15	1002.8	1.17168	1.837E-05	1.568E-05	61490.11	828.3948	825.0937	3.3012	8.1266	8.0942	0.0324	5.1461	1.5792	1.5729	0.0063
	20	20.03	25.10	298.25	1002.7	1.17117	1.838E-05	1.569E-05	64846.85	838.1479	836.1805	1.9674	8.2222	8.2029	0.0193	5.7287	1.4353	1.4319	0.0034

Cd bawah T=2,50D	V	V aktual	T	T	P	ρ udara	μ	v	Re	dalam gram			dalam N			1/CD	Koefisien Drag		
	(m/s)	(m/s)	(celcius)	(kelvin)	(hPa)	(kg/m3)	kg/m.s	m2/s		F rms	F mean	F osilasi	F rms	F mean	F osilasi		Cd rms	Cd mean	Cd osilasi
	5	4.95	24.30	297.45	1003.1	1.17479	1.834E-05	1.561E-05	16108.37	66.5784	61.4559	5.1225	0.6531	0.6029	0.0503	0.3510	1.8610	1.7179	0.1432
	6	5.97	24.10	297.25	1003.2	1.17570	1.833E-05	1.559E-05	19452.76	87.9066	84.9888	2.9178	0.8624	0.8337	0.0286	0.5109	1.6880	1.6320	0.0560
	7	7.02	24.10	297.25	1003.1	1.17558	1.833E-05	1.559E-05	22871.82	120.4414	116.7076	3.7338	1.1815	1.1449	0.0366	0.7063	1.6728	1.6209	0.0519
	8	8.04	24.30	297.45	1003.0	1.17467	1.834E-05	1.561E-05	26161.28	151.7674	148.4729	3.2945	1.4888	1.4565	0.0323	0.9258	1.6082	1.5733	0.0349
	9	9.00	24.50	297.65	1003.0	1.17388	1.835E-05	1.563E-05	29250.19	187.4273	186.0199	1.4074	1.8387	1.8249	0.0138	1.1593	1.5860	1.5741	0.0119
	10	9.95	24.60	297.75	1003.0	1.17349	1.835E-05	1.564E-05	32318.48	228.3587	226.8998	1.4589	2.2402	2.2259	0.0143	1.4164	1.5816	1.5715	0.0101
	11	11.00	24.90	298.05	1002.9	1.17219	1.837E-05	1.567E-05	35661.77	271.5819	270.1078	1.4741	2.6642	2.6498	0.0145	1.7293	1.5407	1.5323	0.0084
	12	12.00	24.70	297.85	1002.9	1.17298	1.836E-05	1.565E-05	38950.01	321.5317	318.7987	2.7330	3.1542	3.1274	0.0268	2.0593	1.5317	1.5186	0.0130
	13	13.01	24.90	298.05	1002.9	1.17219	1.837E-05	1.567E-05	42178.15	374.0540	371.0478	3.0062	3.6695	3.6400	0.0295	2.4190	1.5170	1.5048	0.0122
	14	14.04	24.90	298.05	1002.7	1.17196	1.837E-05	1.567E-05	45508.31	429.5599	427.8750	1.6849	4.2140	4.1975	0.0165	2.8166	1.4961	1.4903	0.0059
	15	14.97	24.80	297.95	1002.8	1.17247	1.836E-05	1.566E-05	48556.43	486.0682	483.7140	2.3542	4.7683	4.7452	0.0231	3.2035	1.4885	1.4813	0.0072
	16	15.95	25.00	298.15	1002.9	1.17180	1.837E-05	1.568E-05	51678.87	551.7951	550.0373	1.7578	5.4131	5.3959	0.0172	3.6345	1.4894	1.4846	0.0047
	17	17.03	25.00	298.15	1002.9	1.17180	1.837E-05	1.568E-05	55178.13	625.0410	621.0034	4.0376	6.1317	6.0920	0.0396	4.1434	1.4799	1.4703	0.0096
	18	18.04	25.00	298.15	1002.8	1.17168	1.837E-05	1.568E-05	58444.76	692.1206	688.9927	3.1278	6.7897	6.7590	0.0307	4.6490	1.4605	1.4539	0.0066
	19	18.98	25.00	298.15	1002.8	1.17168	1.837E-05	1.568E-05	61490.11	773.7256	769.2577	4.4679	7.5902	7.5464	0.0438	5.1461	1.4750	1.4664	0.0085
	20	20.03	25.10	298.25	1002.7	1.17117	1.838E-05	1.569E-05	64846.85	854.7195	852.3378	2.3817	8.3848	8.3614	0.0234	5.7287	1.4636	1.4596	0.0041

DETAIL PERHITUNGAN GAYA LIFT

Model			Properti Udara		
L	0.48	cm	Rspesific Dry Air	287.058	J/(Kg.K)
D	0.0508	cm	b viscosity	1.458E-06	Kg/ms(K^0,5)
			S viscosity	110.4	K
			P absollute	100000	Pa

	V	V aktual	T	T	P	ρ udara	μ	v	Re	dalam gram			dalam N			1/CD	Koefisien Lift		
	(m/s)	(m/s)	(celcius)	(kelvin)	(hPa)	(kg/m3)	kg/m.s	m2/s		F rms	F mean	F osilasi	F rms	F mean	F osilasi		Cl rms	Cl mean	Cl osilasi
Polos tunggal	5	4.97	24.8	297.95	1000.5	1.16978	1.836E-05	1.57E-05	16083.63	17.2700	1.9734	15.2966	0.1694	0.0194	0.1501	0.3523	0.4809	0.0550	0.4260
	6	6.01	24.7	297.85	1000.3	1.16994	1.836E-05	1.569E-05	19456.89	25.5451	2.0453	23.4998	0.2506	0.0201	0.2305	0.5152	0.4864	0.0389	0.4475
	7	6.96	24.8	297.95	1000.2	1.16943	1.836E-05	1.57E-05	22516.80	46.6750	2.1523	44.5228	0.4579	0.0211	0.4368	0.6907	0.6630	0.0306	0.6324
	8	7.95	24.9	298.05	1000.3	1.16915	1.837E-05	1.571E-05	25706.92	34.8670	2.5126	32.3544	0.3420	0.0246	0.3174	0.9009	0.3797	0.0274	0.3523
	9	9.01	25	298.15	1000.2	1.16864	1.837E-05	1.572E-05	29114.30	78.4057	3.4778	74.9279	0.7692	0.0341	0.7350	1.1567	0.6650	0.0295	0.6355
	10	9.98	25	298.15	1000.2	1.16864	1.837E-05	1.572E-05	32248.69	27.3709	3.5055	23.8653	0.2685	0.0344	0.2341	1.4191	0.1892	0.0242	0.1650
	11	11	25.1	298.25	1000.3	1.16837	1.838E-05	1.573E-05	35527.11	52.8088	4.1752	48.6336	0.5181	0.0410	0.4771	1.7236	0.3006	0.0238	0.2768
	12	11.96	25.2	298.35	1000.2	1.16786	1.838E-05	1.574E-05	38600.88	76.7283	5.5978	71.1305	0.7527	0.0549	0.6978	2.0367	0.3696	0.0270	0.3426
	13	12.98	25.3	298.45	1000.2	1.16747	1.839E-05	1.575E-05	41868.09	85.7905	6.5266	79.2640	0.8416	0.0640	0.7776	2.3981	0.3509	0.0267	0.3242
	14	13.97	25.3	298.45	1000.4	1.16770	1.839E-05	1.575E-05	45070.43	97.6867	9.3275	88.3592	0.9583	0.0915	0.8668	2.7784	0.3449	0.0329	0.3120
	15	14.96	25.1	298.25	1000.3	1.16837	1.838E-05	1.573E-05	48316.87	64.9505	9.0518	55.8987	0.6372	0.0888	0.5484	3.1880	0.1999	0.0279	0.1720
	16	15.99	25.2	298.35	1000.4	1.16809	1.838E-05	1.574E-05	51618.02	69.8803	9.3940	60.4863	0.6855	0.0922	0.5934	3.6412	0.1883	0.0253	0.1630
	17	16.96	25.2	298.35	1000.4	1.16809	1.838E-05	1.574E-05	54749.32	89.0998	11.9720	77.1278	0.8741	0.1174	0.7566	4.0964	0.2134	0.0287	0.1847
	18	18.05	25.4	298.55	1000.5	1.16743	1.839E-05	1.575E-05	58204.74	95.3574	14.6712	80.6862	0.9355	0.1439	0.7915	4.6372	0.2017	0.0310	0.1707
	19	18.97	25.5	298.65	1000.4	1.16692	1.84E-05	1.576E-05	61129.05	118.2209	15.3859	102.8350	1.1597	0.1509	1.0088	5.1198	0.2265	0.0295	0.1970
	20	20.02	25.7	298.85	1000.3	1.16602	1.841E-05	1.578E-05	64429.75	115.9629	22.9002	93.0626	1.1376	0.2247	0.9129	5.6978	0.1997	0.0394	0.1602

Helic tunggal	V	V aktual	T	T	P	ρ udara	μ	v	Re	dalam gram			dalam N			1/CD	Koefisien Lift		
	(m/s)	(m/s)	(celcius)	(kelvin)	(hPa)	(kg/m3)	kg/m.s	m2/s		F rms	F mean	F osilasi	F rms	F mean	F osilasi		Cl rms	Cl mean	Cl osilasi
	5	5.04	24.2	297.35	1003.1	1.17519	1.833E-05	1.56E-05	16411.01	32.0243	1.2721	30.7522	0.3142	0.0125	0.3017	0.3640	0.8632	0.0343	0.8289
	6	6.04	24.2	297.35	1003	1.17507	1.833E-05	1.56E-05	19665.21	28.4256	0.2948	28.1308	0.2789	0.0029	0.2760	0.5227	0.5335	0.0055	0.5280
	7	7.01	24.2	297.35	1003	1.17507	1.833E-05	1.56E-05	22823.36	32.1186	0.7316	31.3870	0.3151	0.0072	0.3079	0.7040	0.4476	0.0102	0.4374
	8	8.03	24.4	297.55	1003	1.17428	1.834E-05	1.562E-05	26113.20	41.2484	2.9399	38.3086	0.4046	0.0288	0.3758	0.9232	0.4383	0.0312	0.4071
	9	9.01	24.5	297.65	1003.1	1.17400	1.835E-05	1.563E-05	29285.61	24.1634	3.4940	20.6693	0.2370	0.0343	0.2028	1.1620	0.2040	0.0295	0.1745
	10	10.01	24.5	297.65	1002.8	1.17365	1.835E-05	1.563E-05	32526.22	27.1490	5.3801	21.7690	0.2663	0.0528	0.2136	1.4338	0.1858	0.0368	0.1489
	11	10.98	24.5	297.65	1002.9	1.17377	1.835E-05	1.563E-05	35681.67	34.6909	7.0529	27.6380	0.3403	0.0692	0.2711	1.7253	0.1973	0.0401	0.1571
	12	11.99	24.6	297.75	1002.8	1.17326	1.835E-05	1.564E-05	38936.81	36.1246	7.8858	28.2389	0.3544	0.0774	0.2770	2.0564	0.1723	0.0376	0.1347
	13	13.03	24.6	297.75	1002.7	1.17314	1.835E-05	1.564E-05	42309.93	36.9944	12.3239	24.6704	0.3629	0.1209	0.2420	2.4284	0.1494	0.0498	0.0997
	14	13.99	24.7	297.85	1002.6	1.17263	1.836E-05	1.566E-05	45395.64	47.7824	12.4529	35.3295	0.4687	0.1222	0.3466	2.7981	0.1675	0.0437	0.1239
	15	14.97	24.7	297.85	1002.7	1.17275	1.836E-05	1.565E-05	48580.45	41.7886	13.6289	28.1597	0.4099	0.1337	0.2762	3.2042	0.1279	0.0417	0.0862
	16	15.95	24.5	297.65	1002.9	1.17377	1.835E-05	1.563E-05	51832.66	46.1960	12.8994	33.2967	0.4532	0.1265	0.3266	3.6406	0.1245	0.0348	0.0897
	17	16.97	24.6	297.75	1003	1.17349	1.835E-05	1.564E-05	55120.06	40.9877	21.9580	19.0297	0.4021	0.2154	0.1867	4.1202	0.0976	0.0523	0.0453
	18	17.95	24.7	297.85	1003	1.17310	1.836E-05	1.565E-05	58268.54	43.0094	24.1985	18.8109	0.4219	0.2374	0.1845	4.6083	0.0916	0.0515	0.0400
	19	19	24.7	297.85	1002.8	1.17286	1.836E-05	1.565E-05	61664.70	55.9398	27.5332	28.4067	0.5488	0.2701	0.2787	5.1621	0.1063	0.0523	0.0540
	20	20.02	24.8	297.95	1002.9	1.17259	1.836E-05	1.566E-05	64943.00	91.2964	19.8171	71.4793	0.8956	0.1944	0.7012	5.7299	0.1563	0.0339	0.1224

Cl atas T=1,75D	V	V aktual	T	T	P	ρ udara	μ	v	Re	dalam gram			dalam N			1/CD	Koefisien Lift		
	(m/s)	(m/s)	(celcius)	(kelvin)	(hPa)	(kg/m3)	kg/m.s	m2/s		F rms	F mean	F osilasi	F rms	F mean	F osilasi		Cl rms	Cl mean	Cl osilasi
	5	5	23.8	296.95	1002.1	1.17560	1.832E-05	1.558E-05	16303.36	25.7316	9.7300	16.0016	0.2524	0.0955	0.1570	0.3583	0.7045	0.2664	0.4381
	6	6.02	24.2	297.35	1002.2	1.17413	1.833E-05	1.562E-05	19584.46	28.4663	14.9073	13.5590	0.2793	0.1462	0.1330	0.5188	0.5383	0.2819	0.2564
	7	6.95	24.3	297.45	1002.2	1.17374	1.834E-05	1.562E-05	22596.50	35.8571	20.3168	15.5403	0.3518	0.1993	0.1525	0.6912	0.5089	0.2883	0.2206
	8	7.97	24.5	297.65	1002.2	1.17295	1.835E-05	1.564E-05	25882.01	54.7406	31.9356	22.8050	0.5370	0.3133	0.2237	0.9084	0.5912	0.3449	0.2463
	9	9.05	24.6	297.75	1002.0	1.17232	1.835E-05	1.566E-05	29365.89	47.3144	37.7047	9.6097	0.4642	0.3699	0.0943	1.1706	0.3965	0.3160	0.0805
	10	9.98	24.6	297.75	1002.2	1.17255	1.835E-05	1.565E-05	32390.07	61.5796	52.3530	9.2266	0.6041	0.5136	0.0905	1.4239	0.4243	0.3607	0.0636
	11	10.98	24.8	297.95	1002.2	1.17177	1.836E-05	1.567E-05	35593.23	68.1661	53.9380	14.2280	0.6687	0.5291	0.1396	1.7223	0.3883	0.3072	0.0810
	12	11.98	24.9	298.05	1001.9	1.17102	1.837E-05	1.569E-05	38800.19	79.1059	64.4096	14.6963	0.7760	0.6319	0.1442	2.0491	0.3787	0.3084	0.0704
	13	12.99	24.9	298.05	1002.1	1.17126	1.837E-05	1.568E-05	42079.72	101.7654	74.9669	26.7985	0.9983	0.7354	0.2629	2.4096	0.4143	0.3052	0.1091
	14	14	25.1	298.25	1002.1	1.17047	1.838E-05	1.57E-05	45297.68	105.0679	90.4917	14.5762	1.0307	0.8877	0.1430	2.7970	0.3685	0.3174	0.0511
	15	14.99	25.1	298.25	1002.0	1.17035	1.838E-05	1.57E-05	48496.04	117.6998	97.2450	20.4549	1.1546	0.9540	0.2007	3.2062	0.3601	0.2975	0.0626
	16	16.05	25.1	298.25	1002.0	1.17035	1.838E-05	1.57E-05	51925.38	135.3034	121.1607	14.1427	1.3273	1.1886	0.1387	3.6757	0.3611	0.3234	0.0377
	17	16.99	25.3	298.45	1002.1	1.16969	1.839E-05	1.572E-05	54906.79	197.0906	136.2607	60.8299	1.9335	1.3367	0.5967	4.1165	0.4697	0.3247	0.1450
	18	17.95	25.3	298.45	1002.1	1.16969	1.839E-05	1.572E-05	58009.23	186.8075	161.8769	24.9306	1.8326	1.5880	0.2446	4.5949	0.3988	0.3456	0.0532
	19	18.97	25.4	298.55	1002.1	1.16930	1.839E-05	1.573E-05	61269.23	198.4375	176.4087	22.0288	1.9467	1.7306	0.2161	5.1302	0.3795	0.3373	0.0421
	20	19.98	25.5	298.65	1001.9	1.16867	1.84E-05	1.574E-05	64480.22	218.1572	200.8382	17.3191	2.1401	1.9702	0.1699	5.6880	0.3763	0.3464	0.0299

	V	V aktual	T	T	P	ρ udara	μ	v	Re	dalam gram			dalam N			1/CD	Koefisien Lift		
	(m/s)	(m/s)	(celcius)	(kelvin)	(hPa)	(kg/m3)	kg/m.s	m2/s		F rms	F mean	F osilasi	F rms	F mean	F osilasi		Cl rms	Cl mean	Cl osilasi
CI bawah T=1,75D	5	5	23.8	296.95	1002.1	1.17560	1.832E-05	1.558E-05	16303.36	21.4992	8.9040	12.5951	0.2109	0.0873	0.1236	0.3583	0.5886	0.2438	0.3448
	6	6.02	24.2	297.35	1002.2	1.17413	1.833E-05	1.562E-05	19584.46	31.9487	13.7433	18.2054	0.3134	0.1348	0.1786	0.5188	0.6041	0.2599	0.3443
	7	6.95	24.3	297.45	1002.2	1.17374	1.834E-05	1.562E-05	22596.50	34.2647	19.0810	15.1838	0.3361	0.1872	0.1490	0.6912	0.4863	0.2708	0.2155
	8	7.97	24.5	297.65	1002.2	1.17295	1.835E-05	1.564E-05	25882.01	46.4819	23.8933	22.5885	0.4560	0.2344	0.2216	0.9084	0.5020	0.2580	0.2439
	9	9.05	24.6	297.75	1002.0	1.17232	1.835E-05	1.566E-05	29365.89	40.9797	29.5183	11.4613	0.4020	0.2896	0.1124	1.1706	0.3434	0.2474	0.0960
	10	9.98	24.6	297.75	1002.2	1.17255	1.835E-05	1.565E-05	32390.07	86.7107	37.3858	49.3250	0.8506	0.3668	0.4839	1.4239	0.5974	0.2576	0.3398
	11	10.98	24.8	297.95	1002.2	1.17177	1.836E-05	1.567E-05	35593.23	65.5801	56.3109	9.2692	0.6433	0.5524	0.0909	1.7223	0.3735	0.3207	0.0528
	12	11.98	24.9	298.05	1001.9	1.17102	1.837E-05	1.569E-05	38800.19	83.1436	66.4674	16.6762	0.8156	0.6520	0.1636	2.0491	0.3981	0.3182	0.0798
	13	12.99	24.9	298.05	1002.1	1.17126	1.837E-05	1.568E-05	42079.72	92.2434	84.1255	8.1179	0.9049	0.8253	0.0796	2.4096	0.3755	0.3425	0.0330
	14	14	25.1	298.25	1002.1	1.17047	1.838E-05	1.57E-05	45297.68	105.8338	98.4237	7.4101	1.0382	0.9655	0.0727	2.7970	0.3712	0.3452	0.0260
	15	14.99	25.1	298.25	1002.0	1.17035	1.838E-05	1.57E-05	48496.04	125.2915	114.7961	10.4954	1.2291	1.1261	0.1030	3.2062	0.3833	0.3512	0.0321
	16	16.05	25.1	298.25	1002.0	1.17035	1.838E-05	1.57E-05	51925.38	139.7454	127.4674	12.2780	1.3709	1.2505	0.1204	3.6757	0.3730	0.3402	0.0328
	17	16.99	25.3	298.45	1002.1	1.16969	1.839E-05	1.572E-05	54906.79	200.6745	149.2284	51.4461	1.9686	1.4639	0.5047	4.1165	0.4782	0.3556	0.1226
	18	17.95	25.3	298.45	1002.1	1.16969	1.839E-05	1.572E-05	58009.23	249.8305	168.9101	80.9204	2.4508	1.6570	0.7938	4.5949	0.5334	0.3606	0.1728
	19	18.97	25.4	298.55	1002.1	1.16930	1.839E-05	1.573E-05	61269.23	221.2878	184.9947	36.2931	2.1708	1.8148	0.3560	5.1302	0.4231	0.3537	0.0694
	20	19.98	25.5	298.65	1001.9	1.16867	1.84E-05	1.574E-05	64480.22	221.5420	202.6694	18.8727	2.1733	1.9882	0.1851	5.6880	0.3821	0.3495	0.0325

	V	V aktual	T	T	P	ρ udara	μ	v	Re	dalam gram			dalam N			1/CD	Koefisien Lift		
	(m/s)	(m/s)	(celcius)	(kelvin)	(hPa)	(kg/m3)	kg/m.s	m2/s		F rms	F mean	F osilasi	F rms	F mean	F osilasi		Cl rms	Cl mean	Cl osilasi
CI atas T=2,00D	5	4.97	24.5	297.65	1003.1	1.17400	1.835E-05	1.563E-05	16154.21	28.0214	5.6881	22.3333	0.2749	0.0558	0.2191	0.3536	0.7775	0.1578	0.6197
	6	6.02	24.6	297.75	1003.2	1.17372	1.835E-05	1.564E-05	19557.39	37.6456	10.3284	27.3173	0.3693	0.1013	0.2680	0.5186	0.7121	0.1954	0.5167
	7	6.97	24.8	297.95	1003.1	1.17282	1.836E-05	1.566E-05	22614.53	45.3384	16.4112	28.9272	0.4448	0.1610	0.2838	0.6947	0.6403	0.2318	0.4085
	8	8.01	25	298.15	1003.0	1.17192	1.837E-05	1.568E-05	25955.43	44.7841	19.2803	25.5038	0.4393	0.1891	0.2502	0.9167	0.4792	0.2063	0.2729
	9	8.99	25	298.15	1003.0	1.17192	1.837E-05	1.568E-05	29131.00	36.0463	22.6103	13.4359	0.3536	0.2218	0.1318	1.1548	0.3062	0.1921	0.1141
	10	10.05	25.1	298.25	1003.0	1.17152	1.838E-05	1.569E-05	32546.47	54.4148	29.1857	25.2291	0.5338	0.2863	0.2475	1.4426	0.3700	0.1985	0.1716
	11	11.01	25.2	298.35	1002.9	1.17101	1.838E-05	1.57E-05	35630.68	48.5388	35.6292	12.9096	0.4762	0.3495	0.1266	1.7307	0.2751	0.2020	0.0732
	12	11.98	25.2	298.35	1002.9	1.17101	1.838E-05	1.57E-05	38769.81	66.7415	42.9741	23.7674	0.6547	0.4216	0.2332	2.0490	0.3195	0.2057	0.1138
	13	12.99	25.5	298.65	1002.9	1.16984	1.84E-05	1.573E-05	41963.67	70.6459	51.4293	19.2166	0.6930	0.5045	0.1885	2.4067	0.2880	0.2096	0.0783
	14	13.98	25.4	298.55	1002.7	1.17000	1.839E-05	1.572E-05	45179.59	74.9240	55.7811	19.1429	0.7350	0.5472	0.1878	2.7879	0.2636	0.1963	0.0674
	15	15	25.5	298.65	1002.8	1.16972	1.84E-05	1.573E-05	48452.06	88.6814	63.5752	25.1062	0.8700	0.6237	0.2463	3.2088	0.2711	0.1944	0.0768
	16	15.97	25.5	298.65	1002.9	1.16984	1.84E-05	1.573E-05	51590.43	100.8720	68.3115	32.5605	0.9896	0.6701	0.3194	3.6376	0.2720	0.1842	0.0878
	17	17.05	25.6	298.75	1002.9	1.16945	1.84E-05	1.573E-05	55046.70	102.1763	72.2196	29.9568	1.0023	0.7085	0.2939	4.1448	0.2418	0.1709	0.0709
	18	18.02	25.6	298.75	1002.8	1.16933	1.84E-05	1.574E-05	58172.59	108.2180	80.7498	27.4682	1.0616	0.7922	0.2695	4.6294	0.2293	0.1711	0.0582
	19	19.04	25.4	298.55	1002.8	1.17011	1.839E-05	1.572E-05	61538.28	146.6228	111.1249	35.4979	1.4384	1.0901	0.3482	5.1717	0.2781	0.2108	0.0673
	20	20.05	25.5	298.65	1002.7	1.16960	1.84E-05	1.573E-05	64757.79	178.3862	139.6982	38.6880	1.7500	1.3704	0.3795	5.7325	0.3053	0.2391	0.0662

CI bawah T=2,00D	V	V aktual	T	T	P	ρ udara	μ	v	Re	dalam gram			dalam N			1/CD	Koefisien Lift		
	(m/s)	(m/s)	(celcius)	(kelvin)	(hPa)	(kg/m3)	kg/m.s	m2/s		F rms	F mean	F osilasi	F rms	F mean	F osilasi		Cl rms	Cl mean	Cl osilasi
5	4.97	24.5	297.65	1003.1	1.17400	1.835E-05	1.563E-05	16154.21	24.2836	12.5028	11.7808	0.2382	0.1227	0.1156	0.3536	0.6738	0.3469	0.3269	
6	6.02	24.6	297.75	1003.2	1.17372	1.835E-05	1.564E-05	19557.39	29.6065	17.3387	12.2679	0.2904	0.1701	0.1203	0.5186	0.5600	0.3280	0.2321	
7	6.97	24.8	297.95	1003.1	1.17282	1.836E-05	1.566E-05	22614.53	39.8267	24.0316	15.7951	0.3907	0.2357	0.1550	0.6947	0.5624	0.3394	0.2231	
8	8.01	25	298.15	1003.0	1.17192	1.837E-05	1.568E-05	25955.43	53.8279	31.6219	22.2060	0.5281	0.3102	0.2178	0.9167	0.5760	0.3384	0.2376	
9	8.99	25	298.15	1003.0	1.17192	1.837E-05	1.568E-05	29131.00	52.6087	40.3505	12.2582	0.5161	0.3958	0.1203	1.1548	0.4469	0.3428	0.1041	
10	10.05	25.1	298.25	1003.0	1.17152	1.838E-05	1.569E-05	32546.47	66.7772	52.4648	14.3124	0.6551	0.5147	0.1404	1.4426	0.4541	0.3568	0.0973	
11	11.01	25.2	298.35	1002.9	1.17101	1.838E-05	1.57E-05	35630.68	67.9969	59.0939	8.9030	0.6670	0.5797	0.0873	1.7307	0.3854	0.3350	0.0505	
12	11.98	25.2	298.35	1002.9	1.17101	1.838E-05	1.57E-05	38769.81	88.8932	66.9557	21.9376	0.8720	0.6568	0.2152	2.0490	0.4256	0.3206	0.1050	
13	12.99	25.5	298.65	1002.9	1.16984	1.84E-05	1.573E-05	41963.67	93.7279	80.6874	13.0406	0.9195	0.7915	0.1279	2.4067	0.3820	0.3289	0.0532	
14	13.98	25.4	298.55	1002.7	1.17000	1.839E-05	1.572E-05	45179.59	103.5814	88.5295	15.0520	1.0161	0.8685	0.1477	2.7879	0.3645	0.3115	0.0530	
15	15	25.5	298.65	1002.8	1.16972	1.84E-05	1.573E-05	48452.06	117.3795	102.9630	14.4165	1.1515	1.0101	0.1414	3.2088	0.3589	0.3148	0.0441	
16	15.97	25.5	298.65	1002.9	1.16984	1.84E-05	1.573E-05	51590.43	121.5954	115.7657	5.8297	1.1929	1.1357	0.0572	3.6376	0.3279	0.3122	0.0157	
17	17.05	25.6	298.75	1002.9	1.16945	1.84E-05	1.573E-05	55046.70	127.9767	122.9511	5.0256	1.2555	1.2062	0.0493	4.1448	0.3029	0.2910	0.0119	
18	18.02	25.6	298.75	1002.8	1.16933	1.84E-05	1.574E-05	58172.59	136.2025	129.5365	6.6660	1.3361	1.2708	0.0654	4.6294	0.2886	0.2745	0.0141	
19	19.04	25.4	298.55	1002.8	1.17011	1.839E-05	1.572E-05	61538.28	143.2607	135.4368	7.8239	1.4054	1.3286	0.0768	5.1717	0.2717	0.2569	0.0148	
20	20.05	25.5	298.65	1002.7	1.16960	1.84E-05	1.573E-05	64757.79	168.6819	155.9532	12.7287	1.6548	1.5299	0.1249	5.7325	0.2887	0.2669	0.0218	

CI atas T=2,50D	V	V aktual	T	T	P	ρ udara	μ	v	Re	dalam gram			dalam N			1/CD	Koefisien Lift		
	(m/s)	(m/s)	(celcius)	(kelvin)	(hPa)	(kg/m3)	kg/m.s	m2/s		F rms	F mean	F osilasi	F rms	F mean	F osilasi		Cl rms	Cl mean	Cl osilasi
5	5.04	24.0	297.15	1002.6	1.17539	1.832E-05	1.559E-05	16422.39	29.7253	10.5862	19.1392	0.2916	0.1039	0.1878	0.3640	0.8011	0.2853	0.5158	
6	6.04	24.4	297.55	1002.5	1.17369	1.834E-05	1.563E-05	19632.02	32.1466	15.6523	16.4943	0.3154	0.1535	0.1618	0.5220	0.6041	0.2941	0.3100	
7	7.03	24.4	297.55	1002.8	1.17404	1.834E-05	1.562E-05	22856.68	46.9093	22.8303	24.0790	0.4602	0.2240	0.2362	0.7074	0.6505	0.3166	0.3339	
8	8.05	24.7	297.85	1002.7	1.17275	1.836E-05	1.565E-05	26123.76	43.5065	32.5698	10.9367	0.4268	0.3195	0.1073	0.9266	0.4606	0.3448	0.1158	
9	9.03	24.8	297.95	1002.3	1.17188	1.836E-05	1.567E-05	29274.95	49.3282	39.5246	9.8036	0.4839	0.3877	0.0962	1.1650	0.4154	0.3328	0.0826	
10	9.97	24.9	298.05	1002.4	1.17161	1.837E-05	1.568E-05	32306.42	59.1634	51.0864	8.0770	0.5804	0.5012	0.0792	1.4199	0.4088	0.3530	0.0558	
11	10.98	24.8	297.95	1002.2	1.17177	1.836E-05	1.567E-05	35593.23	70.8590	63.2829	7.5761	0.6951	0.6208	0.0743	1.7223	0.4036	0.3604	0.0432	
12	11.95	25.0	298.15	1002.5	1.17133	1.837E-05	1.569E-05	38703.21	105.4471	72.9747	32.4725	1.0344	0.7159	0.3186	2.0393	0.5072	0.3510	0.1562	
13	12.95	25.0	298.15	1002.4	1.17121	1.837E-05	1.569E-05	41937.79	107.9397	89.0026	18.9372	1.0589	0.8731	0.1858	2.3947	0.4422	0.3646	0.0776	
14	14.03	25.0	298.15	1002.5	1.17133	1.837E-05	1.569E-05	45439.84	116.5823	105.6683	10.9140	1.1437	1.0366	0.1071	2.8111	0.4068	0.3688	0.0381	
15	15.03	25.1	298.25	1002.5	1.17094	1.838E-05	1.569E-05	48649.71	124.0538	112.3088	11.7450	1.2170	1.1017	0.1152	3.2250	0.3774	0.3416	0.0357	
16	16.01	25.1	298.25	1002.4	1.17082	1.838E-05	1.57E-05	51816.65	144.4026	127.0978	17.3048	1.4166	1.2468	0.1698	3.6589	0.3872	0.3408	0.0464	
17	17.05	25.1	298.25	1002.6	1.17106	1.838E-05	1.569E-05	55193.63	160.3923	134.5132	25.8790	1.5734	1.3196	0.2539	4.1505	0.3791	0.3179	0.0612	
18	18.03	25.2	298.35	1002.7	1.17078	1.838E-05	1.57E-05	58337.25	202.7241	138.7485	63.9756	1.9887	1.3611	0.6276	4.6403	0.4286	0.2933	0.1353	
19	19.02	25.4	298.55	1002.7	1.17000	1.839E-05	1.572E-05	61467.50	179.7793	150.9447	28.8346	1.7636	1.4808	0.2829	5.1604	0.3418	0.2870	0.0548	
20	19.96	25.4	298.55	1002.6	1.16988	1.839E-05	1.572E-05	64498.90	194.1237	150.0487	44.0751	1.9044	1.4720	0.4324	5.6825	0.3351	0.2590	0.0761	

Cl bawah T=2,50D	V	V aktual	T	T	P	ρ udara	μ	v	Re	dalam gram			dalam N			1/CD	Koefisien Lift		
	(m/s)	(m/s)	(celcius)	(kelvin)	(hPa)	(kg/m3)	kg/m.s	m2/s		F rms	F mean	F osilasi	F rms	F mean	F osilasi		Cl rms	Cl mean	Cl osilasi
	5	5.04	24.0	297.15	1002.6	1.17539	1.832E-05	1.559E-05	16422.39	19.7546	8.4267	11.3279	0.1938	0.0827	0.1111	0.3640	0.5324	0.2271	0.3053
	6	6.04	24.4	297.55	1002.5	1.17369	1.834E-05	1.563E-05	19632.02	30.6919	13.0410	17.6509	0.3011	0.1279	0.1732	0.5220	0.5768	0.2451	0.3317
	7	7.03	24.4	297.55	1002.8	1.17404	1.834E-05	1.562E-05	22856.68	32.7609	18.8608	13.9002	0.3214	0.1850	0.1364	0.7074	0.4543	0.2616	0.1928
	8	8.05	24.7	297.85	1002.7	1.17275	1.836E-05	1.565E-05	26123.76	32.6364	22.2359	10.4005	0.3202	0.2181	0.1020	0.9266	0.3455	0.2354	0.1101
	9	9.03	24.8	297.95	1002.3	1.17188	1.836E-05	1.567E-05	29274.95	42.7092	29.8460	12.8633	0.4190	0.2928	0.1262	1.1650	0.3596	0.2513	0.1083
	10	9.97	24.9	298.05	1002.4	1.17161	1.837E-05	1.568E-05	32306.42	61.6504	37.8880	23.7624	0.6048	0.3717	0.2331	1.4199	0.4259	0.2618	0.1642
	11	10.98	24.8	297.95	1002.2	1.17177	1.836E-05	1.567E-05	35593.23	60.4585	46.7262	13.7323	0.5931	0.4584	0.1347	1.7223	0.3444	0.2661	0.0782
	12	11.95	25.0	298.15	1002.5	1.17133	1.837E-05	1.569E-05	38703.21	69.3779	51.8918	17.4860	0.6806	0.5091	0.1715	2.0393	0.3337	0.2496	0.0841
	13	12.95	25.0	298.15	1002.4	1.17121	1.837E-05	1.569E-05	41937.79	74.9014	63.5564	11.3450	0.7348	0.6235	0.1113	2.3947	0.3068	0.2604	0.0465
	14	14.03	25.0	298.15	1002.5	1.17133	1.837E-05	1.569E-05	45439.84	87.9053	70.2952	17.6101	0.8624	0.6896	0.1728	2.8111	0.3068	0.2453	0.0615
	15	15.03	25.1	298.25	1002.5	1.17094	1.838E-05	1.569E-05	48649.71	101.7875	81.2284	20.5591	0.9985	0.7969	0.2017	3.2250	0.3096	0.2471	0.0625
	16	16.01	25.1	298.25	1002.4	1.17082	1.838E-05	1.57E-05	51816.65	124.3644	99.8810	24.4834	1.2200	0.9798	0.2402	3.6589	0.3334	0.2678	0.0656
	17	17.05	25.1	298.25	1002.6	1.17106	1.838E-05	1.569E-05	55193.63	149.2663	105.5116	43.7547	1.4643	1.0351	0.4292	4.1505	0.3528	0.2494	0.1034
	18	18.03	25.2	298.35	1002.7	1.17078	1.838E-05	1.57E-05	58337.25	209.9008	115.6915	94.2093	2.0591	1.1349	0.9242	4.6403	0.4438	0.2446	0.1992
	19	19.02	25.4	298.55	1002.7	1.17000	1.839E-05	1.572E-05	61467.50	172.5832	118.7315	53.8516	1.6930	1.1648	0.5283	5.1604	0.3281	0.2257	0.1024
	20	19.96	25.4	298.55	1002.6	1.16988	1.839E-05	1.572E-05	64498.90	214.4957	133.1841	81.3117	2.1042	1.3065	0.7977	5.6825	0.3703	0.2299	0.1404

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Bagas Pumbarino dilahirkan di Muara Kelingi pada 17 Juni 1995 yang merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Pendidikan formal dimulai pada tahun 2000 di SDN Trijaya, Musi Rawas yang kemudian pindah pada tahun 2005 di SDN 2 AB/S Perigi, Musi Rawas dan lulus pada tahun 2006. Setelah itu penulis melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMPN Bangun Rejo, Musi Rawas. Setelah lulus pada 2009, Penulis melanjutkan pendidikan di SMAN 1 Sumedang. Pada 2012,

Penulis diterima di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) melalui jalur Ujian Tulis SNMPTN. Selama kuliah aktif di berbagai kegiatan kepanitiaan, organisasi, dan seminar. Diantaranya adalah Panitia ITS EXPO 2013 dan 2014. Staf Hubungan Luar HIMATEKLA 2013/2014, Staf Sosmas BEM ITS 2013/2014, dan menjadi salah satu *paper presenter* pada SENTA 2016. Pada tahun terakhir perkuliahan, penulis terlibat menjadi anggota tim peneliti pada program “Penelitian Unggul Perguruan Tinggi” 2016 oleh DIKTI yang kemudian beberapa hasil penelitiannya ditulis dalam Tugas Akhir ini. Tugas Akhir ini didedikasikan untuk perkembangan teknologi kelautan, khususnya pada bidang keahlian Hidrodinamika dan Struktur Lepas Pantai.

Email : pumbarino@gmail.com